

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Disseny conceptual d'un ATV elèctric.
Part mecànica.**

MEMÒRIA

Autor: Joaquim Albardaner i Torras
Director: Emilio Angulo Navarro
Convocatòria: Gener 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquesta és la memòria del treball de fi de grau titulat "Disseny conceptual d'un ATV elèctric. Part mecànica". L'objectiu d'aquest treball és dissenyar conceptualment un ATV elèctric a partir del disseny d'un de combustió, centrant-se en les components mecàniques.

Primerament s'ha fet un estudi de la situació actual del mercat de quads i de les tecnologies involucrades. Seguidament s'ha decidit una funció per al producte i es comença a dissenyar aquest.

Coneguda la funció a realitzar se'n dedueixen uns requeriments i es crea un simulador de *Microsoft Excel* per anar provant components elèctrics fins que l'ATV compleix els requeriments establerts. Aquest part està completament explicada al treball complementari "*Conceptual design of an electric ATV. Electric part.*" per Gerard Albarrán.

Un cop escollides les parts elèctriques s'adapta l'estructura d'un quad ja existent, mitjançant el programa *SolidWorks 2016*.

Per concloure s'ha fet un petit repàs de la normativa vigent aplicable, una planificació i pressupost del projecte i un petit estudi d'impacte ambiental.

Sumari

| | |
|--|----|
| Resum | 3 |
| Sumari | 5 |
| 1. Introducció | 9 |
| 1.1. Objectiu del treball | 9 |
| 1.2. Justificació | 9 |
| 1.3. Abast del projecte | 10 |
| 2. Estudi de l'art | 11 |
| 3. Conceptualització general | 14 |
| 4. Parts elèctriques i simulació | 16 |
| 4.1. Simulació | 17 |
| 4.2. Resultats | 21 |
| 4.3. Especificacions finals | 23 |
| 5. Disseny conceptual mecànic | 24 |
| 5.1. Xassís | 24 |
| 5.1.1. Estructura | 27 |
| 5.1.2. Suports i altres unions | 28 |
| 5.2. Les suspensions | 31 |
| 5.2.1. Suspensió posterior | 31 |
| 5.3. Les rodes | 33 |
| 5.4. Direcció | 34 |
| 5.4.1. La direcció per davant | 37 |
| 5.5. Basculant | 39 |
| 5.5.1. Cos basculant | 39 |
| 5.5.2. Motor | 40 |
| 5.5.3. Plat motor i cadena | 42 |

| | | |
|--------|-----------------------------------|----|
| 5.6. | Eix posterior..... | 44 |
| 5.6.1. | Fre..... | 44 |
| 6. | El conjunt acabat | 45 |
| 7. | Normativa | 48 |
| 8. | Planificació i pressupost..... | 49 |
| 9. | Impacte mediambiental..... | 50 |
| 10. | Conclusions..... | 51 |
| 11. | Bibliografia | 52 |
| 11.1. | Referències bibliogràfiques | 52 |
| 11.2. | Bibliografia complementaria | 53 |

1. Introducció

La societat està sempre en constant evolució, i actualment un tema de vital importància és el canvi climàtic. Quan el petroli comença a escassejar i es veu que l'efecte hivernacle pot provocar greus problemes ambientals, l'alternativa que presenten els vehicles elèctrics és sens cap mena de dubte digne d'estudi. Ja es comercialitzen cotxes, motocicletes i altres vehicles elèctrics, però no hi ha cap alternativa "verda" pels ATV.

Els *All Terrain Vehicles* (ATVs) o quads, són uns vehicles de quatre rodes en els que el conductor va assegut en un seient i controla la direcció amb un manillar i estan dissenyats per poder afrontar terrenys molt més difícils que no pas un cotxe convencional [1]. Respecte una motocicleta ofereixen molta més estabilitat i la possibilitat de dur més càrrega darrere. Actualment trobem molt pocs exemplars de quads elèctrics (només infantils i un prototip esportiu [2]) i creiem que sens dubte es pot trobar un lloc al mercat i treure'n profit.

1.1. Objectiu del treball

L'objectiu d'aquest treball és dissenyar conceptualment un *All Terrain Vehicle* (ATV) completament elèctric, per tal de poder entendre a fons com funciona la tracció elèctrica i per demostrar que sense alterar l'arquitectura d'un ATV convencional es pot adaptar per fer-lo elèctric. No es dissenyarà cap component des de zero sinó que màxim es modificaran components ja existents al mercat.

Aquest document es centrarà en la part mecànica del projecte. Un altre treball complementari [3] serà portat per Gerard Albarrán Ràfols sobre la part elèctrica i electrònica de dit vehicle.

1.2. Justificació

La decisió de dissenyar un ATV elèctric va ser motivada per diverses raons. Primerament, i tal i com s'ha comentat anteriorment, el canvi climàtic és sens dubte un problema real i greu al que ens haurem d'enfrontar tot junts. Aquest projecte intentarà aportar el seu granet de sorra per demostrar que es viable fer quads elèctrics.

També creiem que aquests ATVs elèctrics podran substituir els de combustió per alguna de les seves aplicacions. Per exemple, quan hom pensa en una excursió per la natura en família, es busca tranquil·litat i silenci per gaudir de les vistes i la situació i oblidar-te de la ciutat. Sense

cap mena de dubte un vehicle silenciós aconseguiria aquest objectiu molt millor que no pas un de combustió.

Finalment, aquest projecte engloba moltes de les assignatures treballades al llarg de la carrera, i tant en Gerard Albarrán com jo, creiem que aprendre com funciona la tracció elèctrica ens podrà ser útil en el futur.

1.3. Abast del projecte

Així doncs, aquest projecte estarà estructurat en les següents parts:

- Estudi de mercat dels ATV i veure quines característiques tenen els productes comercialitzats.
- Decidir quina utilitat tindrà el nostre producte i fer una primera aproximació a les especificacions que s'hi voldran implementar.
- Simular per ordinador el comportament del vehicle amb diferents components i variables per assegurar el dimensionament bàsic correcte dels components nous.
- Escollir tots els components elèctrics i electrònics necessaris i justificar-ne l'elecció. Aquesta part pot ésser trobada a la part elèctrica del treball. [3]
- Adaptar les parts escollides al model de ATV de combustió ja existent.
- Revisar que no incompleixi la normativa vigent.
- Fer un petit estudi d'impacte ambiental.
- Planificació d'aquest treball amb el consegüent cost.

L'estudi de l'art i el simulador han estat fets conjuntament amb Gerard Albarrán, així com els tres últims punts esmentats.

Aquest projecte és un disseny completament conceptual per demostrar o no la viabilitat d'un ATV elèctric. Al finalitzar el projecte la fase de disseny no estarà acabada, però s'intentarà fer unes instruccions dels passos necessaris per acabar-la.

2. Estudi de l'art

Sempre que es llença un producte al mercat, primer és imprescindible fer un estudi de les possibles alternatives i/o competidors. Abans que res remarcar que actualment al mercat els únics quads elèctrics existents són infantils, la resta són de combustió [2].

Així doncs, es va fer una base de dades amb la documentació extreta de la xarxa (veure *Annex 1*). Al principi es va recollir moltíssima informació de molts ATVs diferents, però després es va veure que era poc pràctica sense saber el tipus de categoria de cada un. Posteriorment es va fer un altre sondeig d'informació només amb les marques predominants al mercat (*Honda, Kawasaki, Suzuki i Yamaha*) i diferenciant clarament la categoria a la que pertanyia cada quad. Actualment existeixen tres categories de ATVs.

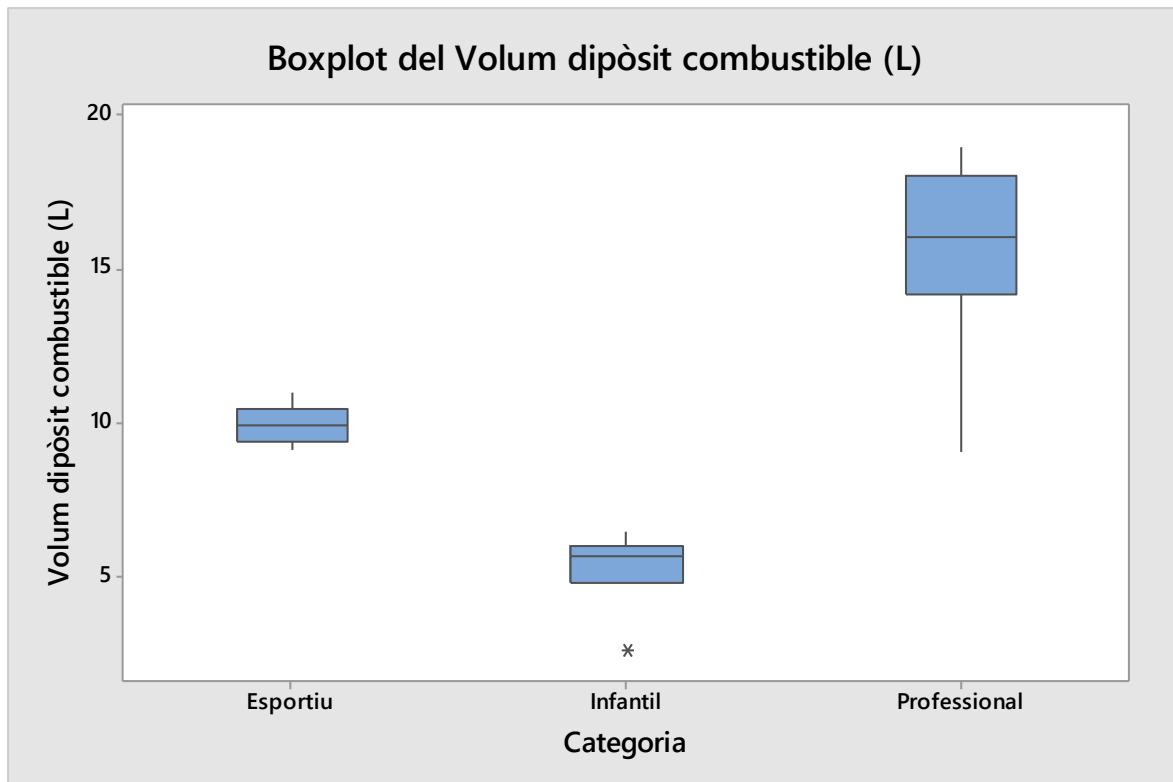
- Primerament trobem els quads **infantils**, tal com indica el nom dedicats a menors entre 12-16 anys. S'identifiquen fàcilment pel seu reduït tamany, poca potència i un dipòsit de volum reduït.
- Per altra banda trobem els ATVs dedicats al **lleure**. Presenten un disseny agressiu i agosarat, així com molta potència per tal de poder fer front a les rampes i pujades més inclinades. Tot i això, intenten mantenir un volum no gaire elevat i un pes lleuger per tal d'aconseguir la màxima maniobrabilitat i control (*imatge 1*).
- Finalment trobem els vehicles destinats a **treballar**, ja sigui al camp, al bosc o en qualsevol zona de terreny difícil. Presenten una gran potència, tamany i dipòsit de combustible (*imatge 2*).



Imatges 1 i 2. Exemple de quad esportiu (Suzuki LT-Z400) [4] i professional (Honda FourTrax Rincon) [5], respectivament.

Com que el producte està destinat a excursions relaxades per terrenys moderadament difícils i no gaire llargues, creiem que el vehicle haurà de ser semblant a la segona categoria esmentada.

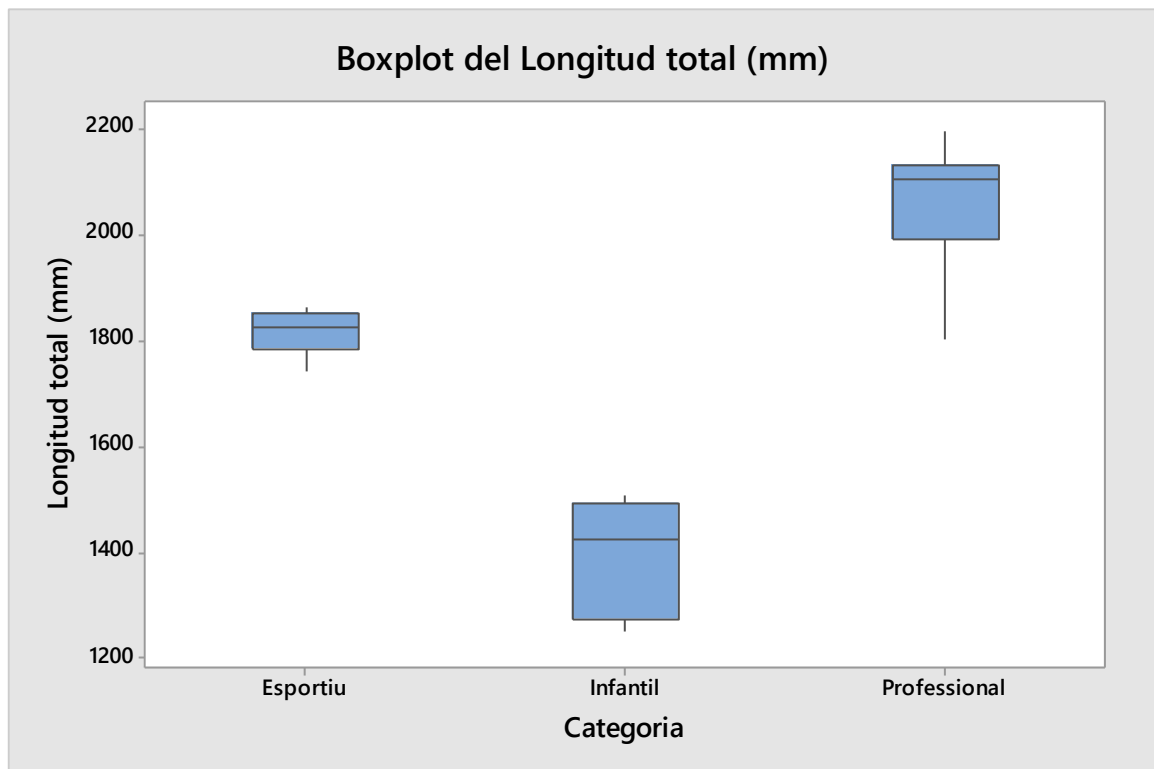
De tota la informació disponible, només es van seleccionar models dels quals es podia saber a quina categoria pertanyia: infantil, esportiu o professional.



Gràfic 1. Capacitat (L) del dipòsit de combustible.

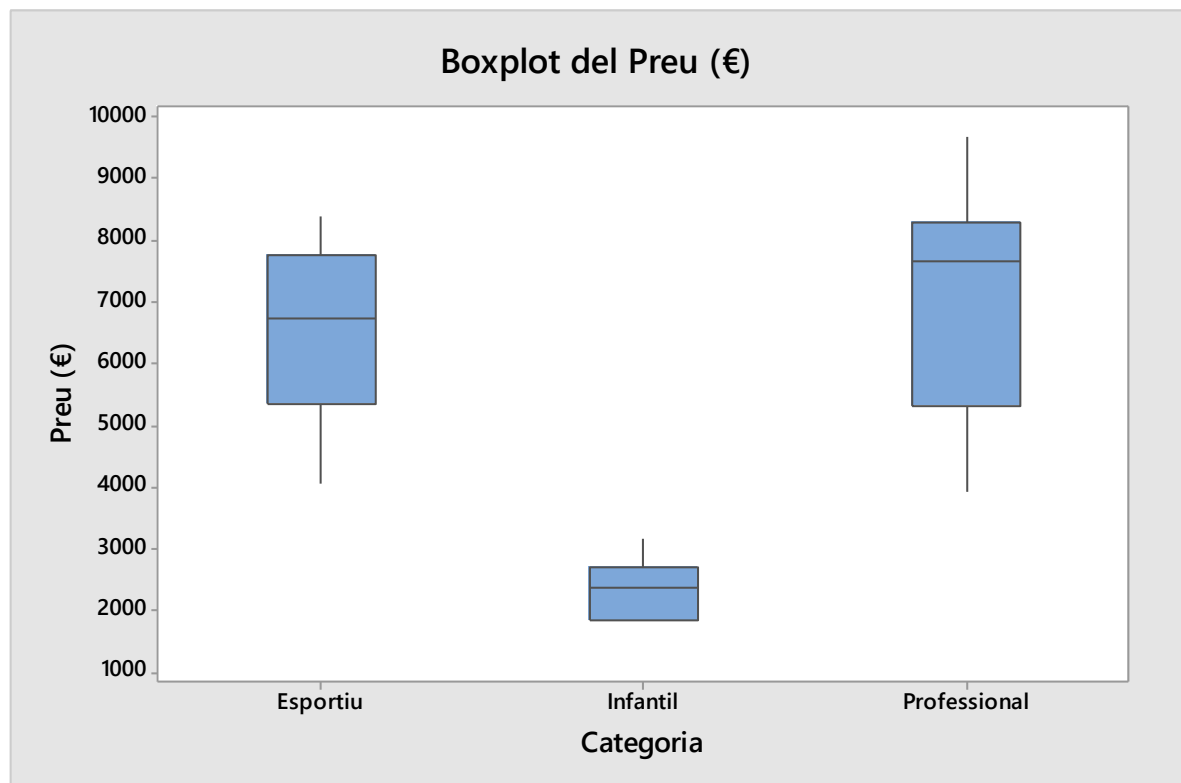
Del gràfic 1 s'obté que el nostre ATV hauria de tenir una autonomia equivalent a 10L de dipòsit. Sabent que un quad gasta aproximadament 8L/100km [6], això es tradueix en uns 125 km d'autonomia que s'intentaran assolir.

Per altra banda, és important veure a quines dimensions està habituat el consumidor, per no desviar-nos massa del producte original. Així doncs fent un petit estudi estadístic de la longitud d'aquest (gràfic 2), es pot veure que rondarà els 1.800 mm.



Gràfic 2. Longitud (m) total dels vehicles estudiats.

Finalment, el preu al que està acostumat el consumidor s'ha de tenir en compte. Aquest haurà de rondar entorn els 6.500€, tot i que això és difícil d'aproximar ja que al fabricar en massa un producte és possible disminuir molt el preu respecte d'un prototip.



Gràfic 3. Preu (€) dels vehicles estudiats.

3. Conceptualització general

El primer pas per a poder seguir aproximant les prestacions del producte és preguntar-se qui podria estar interessat en un ATV elèctric. Malauradament no tothom prioritza conservar el medi ambient i la majoria de persones que busquen un quad esportiu busquen molta potència i també el soroll, així doncs aquest mercat queda descartat.

Els principals avantatges respecte un quad convencional són:

- És respectuós amb el medi ambient
- És silenciós.

Se'ns van ocórrer dos possibles clients: guardes forestals i companyies que ofereixen serveix d'excursions per la natura.

La primera, tot i semblar atractiva perquè els governs i ajuntaments sempre volen donar una imatge ecològica, va ser descartada perquè la feina de guarda forestal requereix molta potència, així també com moltes hores d'autonomia.

Per altra banda, una companyia que es dedica a fer excursions en família per terrenys de moderada dificultat, de no massa duració i recorregut establert seria el consumidor ideal. [7]



Imatge 3. Excursió familiar en quad. [8]

Així doncs, es procedeix a fer una primera taula amb els possibles requeriments que podria necessitar una empresa de dites dimensions. Ja que les excursions serien per terrenys plans i de dificultat baixa, no és necessària una potència tant gran com el de combustió. Així mateix, tampoc és necessària una gran velocitat màxima, ja que el vehicle es desplaçaria per camins de sorra. Per contra, és clar que en el camp de l'autonomia no pot competir contra un vehicle de combustió, però al conèixer la llargària del recorregut és possible trobar una aplicació per a aquest producte.

A continuació hi ha una taula amb les diferents qualitats que creiem que haurà de tenir el producte final.

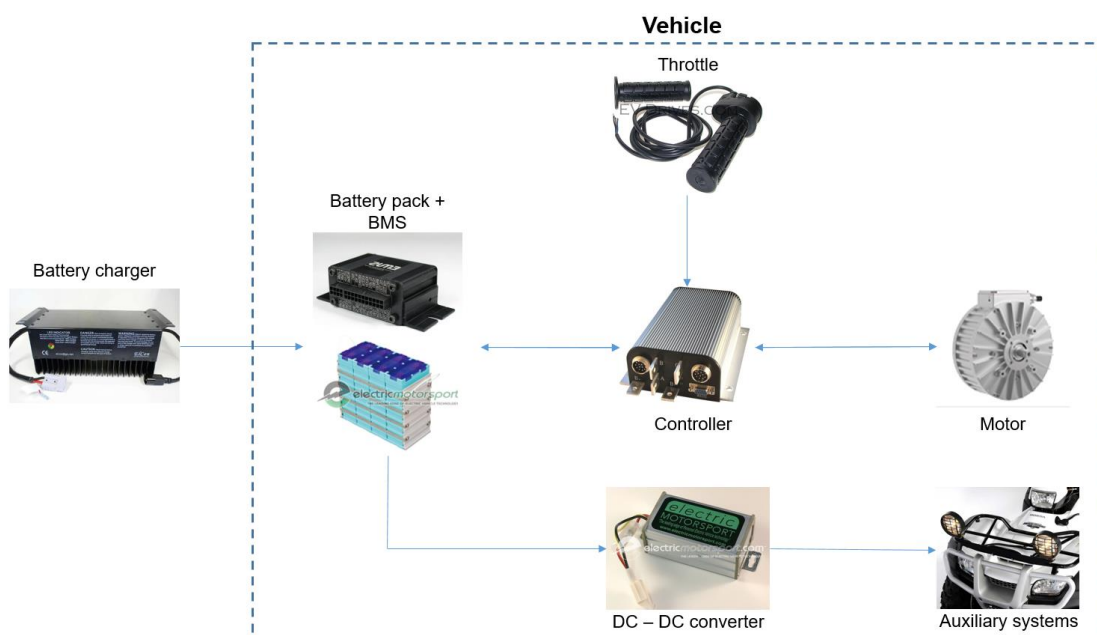
| Especificacions | | | |
|------------------------|---------|-------------------|-------------------|
| | Unitats | Objectiu | Límit |
| Motor | | | |
| Potencia nominal | kW | 12 | 7 |
| Parell nominal | N·m | 55 | 35 |
| Comportament i consum | | | |
| Velocitat màxima | km/h | 50 | 40 |
| Temps fins a vel. Màx. | s | 5 | 10 |
| Dimensions (L x W x H) | mm | 1800 x 1100 x 800 | 1800 x 1100 x 800 |
| Tracció | - | 4x4 | Tracció posterior |
| Massa | kg | 170 | 200 |
| Autonomia | km | 55 | 35 |
| Sistema elèctric | | | |
| Capacitat bateria | kWh | 5 | 3 |
| Temps de càrrega | hores | 6 | 9 |
| Llums | - | LED | LED |

Taula 1. Especificacions a assolir del producte.

4. Parts elèctriques i simulació

Fetes les primeres aproximacions a les característiques que haurà de complir el nostre producte, és precís veure quins components són necessaris. Els més importants són els següents.

- Primerament el **motor**, que idealment tindrà un parell semblant al d'un motor de combustió. Seguidament seran necessàries unes bateries per alimentar el motor.
- També serà necessari un sistema electrònic anomenat **BMS** (*Battery Management System*) que bàsicament s'encarregarà de que les bateries es carreguin i es descarreguin simultàniament i que no es sobreescalfin.
- Amb la finalitat de variar el voltatge que arribarà al motor és imprescindible un **controlador**, que també té la funció de regular quines bobines estaran imantades en cada moment (ja que s'ha decidit per un motor *brushless*).
- Finalment cal instal·lar un **convertidor**, per tal d'alimentar les llums que treballen a 12V a partir de les bateries.

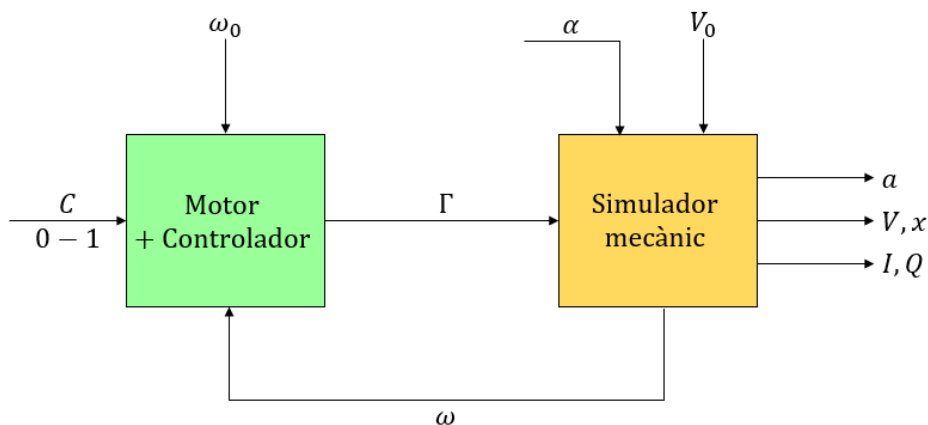


Imatge 4. Esquema dels components elèctrics i electrònics.

Per a veure detalladament cada una de les parts, dirigir-se a la part elèctrica del treball [3]. Un cop es tenen els components elèctrics, cal fer una simulació de com es comportaria tot el conjunt a la realitat i anar provant diferents components fins a complir les especificacions.

4.1. Simulació

Per a tal fi s'usa el programa *Microsoft Office Excel*. En aquest simulador s'introduiran les característiques de tots els components i algunes variables d'entrada, i gràcies a un seguit d'equacions que seran explicades a continuació es podrà monitoritzar la velocitat, consum, parell i altres variables dignes d'estudi.



Imatge 5. Esquema del funcionament del simulador.

El primer pas d'aquesta simulació és donar valor a les 4 variables d'entrada: la velocitat inicial de rotació del rotor ω_0 , la velocitat inicial del vehicle V_0 , el pendent α i la consigna. Suposant que el vehicle parteix de repòs, les dues primeres esmentades són zero.

Primerament el voltatge del motor es veu influenciat per la consigna. Així doncs:

$$V_{motor} = Consigna \times V_{bat} \quad \text{eq.1}$$

- **V_{motor} :** voltatge que rep el motor [V].
- **Consigna:** percentatge de voltatge de les bateries que arriba al motor. Aquesta variable està definida de 0 a 1 i depèn de l'angle de gir del puny del manillar. Seria l'equivalent al "donar gas" dels motors de combustió.
- **V_{bat} :** voltatge de les bateries [V].

Aplicant l'equació dels motors elèctrics i les especificacions del motor [9], obtenim la intensitat que passa pel motor.

$$I_{motor} \times R = V_{motor} - (K_t \times \omega_{motor}) \quad \text{eq. 2}$$

- **I_{motor} :** intensitat que passa pel motor [A].
- **R:** resistència interna del motor [Ω].

- K_t : constant de parell del motor [Nm/A]. (Veure *Annex 3* per a demostració $K_t = K_e$).
- ω_{motor} : velocitat de rotació del rotor del motor [rad/s].
- I_{max} : intensitat màxima que pot suportar el motor [A].

Tot i això cal aplicar un limitador de velocitat, tal i com es mostra a les especificacions del motor de Heinzmann [9], no pot superar els 308 A. Això s'aconsegueix aplicant dues condicions "SI" al programa. D'aquesta manera la intensitat no superarà el límit i, a més a més, conservarà el signe. Això darrer és degut a que al frenar el motor farà de generador i és important conservar el sentit de la intensitat.

Aquesta intensitat es pot anar sumant per aconseguir el consum del motor.

$$C = \frac{I_{motor} \times \Delta t}{3600} \quad \text{eq. 3}$$

- C : consum del motor [kAh]
- Δt : increment de temps [s]. Com més petit sigui l'increment de temps, més precisió tindrà el simulador.
- C : consum del motor [kAh]

Amb l'equació mecànica dels motors elèctrics s'obté el parell que transmet a l'eix.

$$\Gamma_{motor} = K_t \times (I_{motor} - I_0) \quad \text{eq. 4}$$

- Γ_{motor} : parell general pel motor [Nm].
- I_0 : intensitat mínima d'arrancada del motor [A].

La potència que exercirà el motor serà per tant:

$$P_{elec} = \frac{\Gamma_{motor} \times \omega_{motor}}{1000} \quad \text{eq. 5}$$

- P_{elec} : potència generada pel motor [kW].

Gràcies a la relació de la transmissió:

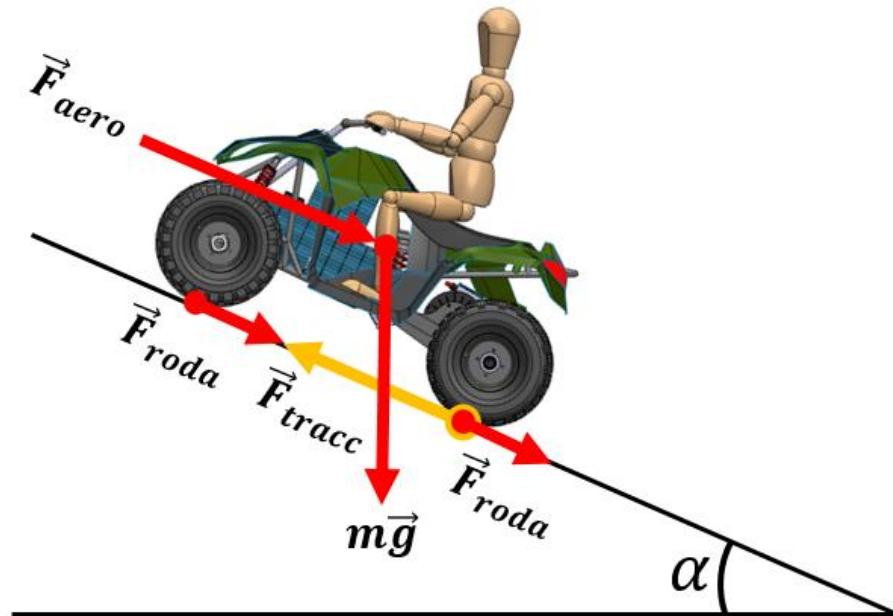
$$\Gamma_{rodes} = \Gamma_{motor} / i \quad \text{eq. 6}$$

- Γ_{motor} : parell generat per les rodes [Nm].
- i : relació de radis entre l'eix del motor i l'eix de tracció.

I apart es pot saber també la velocitat de rotació de les rodes que fan tracció.

$$\omega_{roda} = V_{vehicle} / R_r \quad \text{eq. 7}$$

- ω_{roda} : velocitat de rotació de les rodes [rad/s].
- $V_{vehicle}$: velocitat del vehicle [m/s].
- R_r : radi de les rodes posteriors [m].



Imatge 6. Diagrama de forces que actuen sobre el vehicle.

Amb el parell de la roda i el seu radi s'obté la força de tracció que fa el vehicle al terra [N].

$$F_{tracció} = \Gamma_{roda} / R_r \quad \text{eq. 8}$$

Per altra banda la força de rodament només dependrà de la pendent.

$$F_{rodament} = m \times g \times \cos \alpha \times C_{rr} \quad \text{eq. 9}$$

- $F_{rodament}$: força de rodament [N].
- m : massa del vehicle amb conductor [kg].
- g : gravetat [m/s²].
- α : pendent [rad].
- C_{rr} : Coeficient de rodament [10].

La força aerodinàmica segueix la següent expressió.

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \times C_d \times S_n \times \rho \times V_{vehicle}^2 \quad \text{eq. 10}$$

- **F_{aero}**: força aerodinàmica [N].
- **C_d**: coeficient *drag*. [11]
- **S_n**: superfície normal a la direcció longitudinal [m²].
- **ρ**: densitat de l'aire [kg/m³].

La força del pes [N] es regeix per la següent equació.

$$F_{pes} = m \times g \times \sin \alpha \quad \text{eq. 11}$$

Finalment es fa un sumatori de forces per obtenir la força resultant [N].

$$F = F_{tracció} - F_{rodament} - F_{aero} - F_{pes} \quad \text{eq. 12}$$

Degut a que és possible que la força resultant sigui negativa quan el vehicle està arrencant per culpa de la força de rodament, s'introdueix una segona condició. Si la força resultant és negativa i el vehicle té velocitat nul·la, la força resultant passarà a ser nul·la també.

A partir de la segona llei de Newton aplicant les inèrcies conegudes s'obté l'acceleració

$$a = \frac{F}{m + \frac{J_{rotor}}{i \times Rr} + \frac{J_{r1}}{Rr1} + \frac{J_{r2}}{Rr}} \quad \text{eq. 13}$$

- **a**: acceleració del vehicle [m/s²].
- **J_{rotor}**: inèrcia del rotor [kg·m²].
- **J_{r1}**: inèrcia de l'eix anterior [kg·m²].
- **J_{r2}**: inèrcia de l'eix posterior [kg·m²].
- **R_{r1}**: radi de les rodes davanteres [m].

És en aquest moment que es fa el salt cap el següent instant de temps.

$$V(t + \Delta t) = V(t) + a(t) \times \Delta t \quad \text{eq. 14}$$

I a partir d'aquí es fa el camí invers. Gràcies a l'equació 7 s'aïlla ω_{roda} . Amb aquesta i la relació de transmissió s'obté la ω_{rotor} .

$$\omega_{motor} = \omega_{roda} / i \quad \text{eq. 15}$$

Finalment ara que el rotor ha començat a girar ja aplicarà una resistència de fricció i substituint-lo a l'equació 2 es torna a començar el cicle.

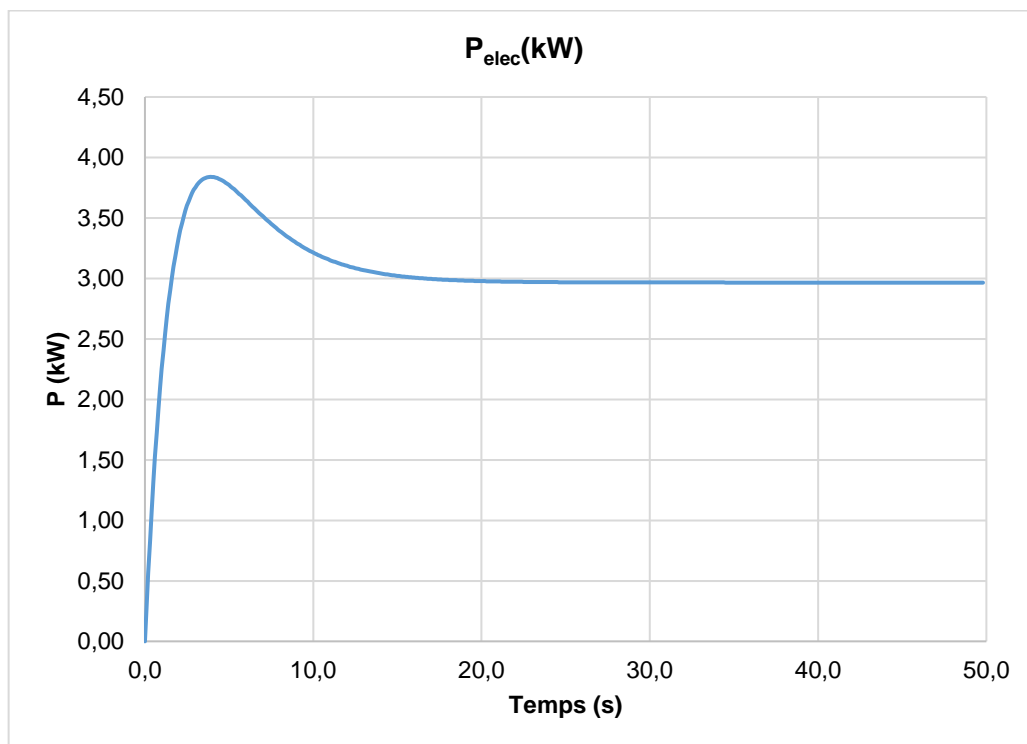
Apart, un cop es té la velocitat i l'acceleració de cada moment, amb l'equació de moviment rectilini uniformement accelerat obtenim la distància recorreguda i per tant en podem extrapolar l'autonomia.

$$X(t + \Delta t) = X(t) + V(t) \cdot \Delta t + a(t) \cdot \Delta t^2 / 2 \quad \text{eq. 16}$$

4.2. Resultats

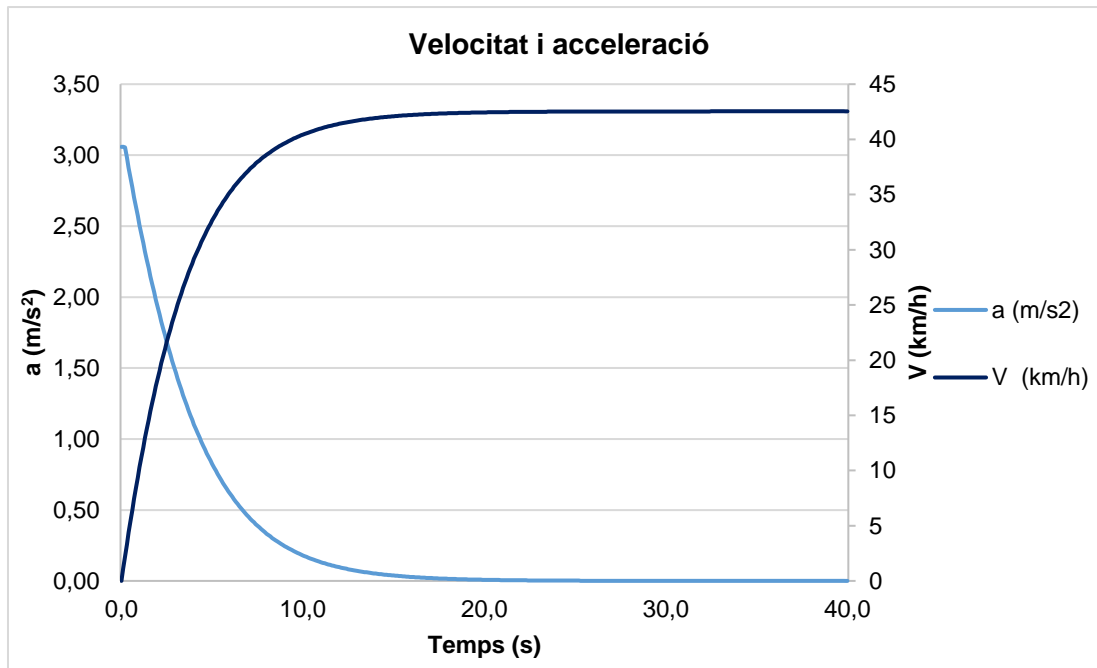
El simulador s'ha utilitzat per seleccionar els components correctes per a l'ATV i els components s'han anat provant iterativament fins que s'han complert els requeriments. Algunes de les variables monitoritzades són les següents.

Una de les variables a més importants a observar és la potència que produeix el motor, que depenent del màxim permetrà escollir la potència màxima d'aquest.



Gràfic 4. Gràfic de la potència simulada final.

Per altra banda també s'ha fet servir el simulador per establir una relació de transmissió "i" entre el motor i l'eix de tracció posterior. Sabent que es volia arribar aproximadament a la velocitat màxima en 10 segons i que aquesta havia de ser entre 40 i 50 km/h s'ha anat provant diverses relacions fins a aconseguir una que complís la condició.



Gràfic 5. Gràfic de l'acceleració i velocitat del vehicle.

Per a una explicació més detallada del simulador i un llistat amb els components elèctrics finalment escollits, referir-se al treball complementari elèctric. [3] A continuació es mostra una taula amb les característiques de les components escollides.

| Variable | Valor | Unitats | J_{r2} | 1,08 | kg·m ² |
|-------------|---------|-------------------|---------------|---------|-------------------|
| Consigna | 0-1 | - | m | 250 | Kg |
| K_t | 0,26 | Nm/A | R_r | 0,26 | m |
| I_o | 0 | A | i | 0,33 | - |
| I_{max} | 308 | A | S_n | 1,5 | m ² |
| R | 0,15 | Ω | V_0 | - | m/s |
| V_{bat} | 48 | V | ω_0 | - | rad/s |
| C_{rr} | 0,055 | - | ρ_{aire} | 1,2 | kg/m ³ |
| C_d | 0,9 | - | g | 9,80665 | m/s ² |
| J_{rotor} | 0,00586 | kg·m ² | Δt | 0,1 | S |
| J_{r1} | 0,99 | kg·m ² | α | - | rad |

Taula 2. Llistat dels valors dels components usats.

4.3. Especificacions finals

La columna de la dreta de la taula següent mostra les especificacions aconseguides al final del procés de prova i error.

| Especificacions | | | | |
|--------------------------------|---------|-----------------|-------------------|--------------------|
| Concepte | Unitats | Objectiu | Límit | Aconseguit |
| Motor | | | | |
| Potència nominal | kW | 12 | 7 | 7,2 |
| Parell nominal | N·m | 55 | 35 | 45,8 |
| Comportament i consum | | | | |
| Velocitat màxima | km/h | 50 | 40 | 40 |
| Acceleració a màxima velocitat | s | 5 | 10 | 9 |
| Dimensions (L x H x A) | m | 1,8 x 1,1 x 0,8 | 1,8 x 1,1 x 0,8 | 1,88 x 1,22 x 0,77 |
| Tracció | - | 4x4 | Tracció posterior | Tracció posterior |
| Massa | kg | 170 | 200 | 180 |
| Autonomia | km | 55 | 35 | 50 |
| Sistema elèctric | | | | |
| Capacitat bateria | kWh | 5 | 3 | 4,8 |
| Temps càrrega | Hores | 5 | 9 | 5 |
| Llums | - | LED | LED | LED |

Taula 3. Especificacions aconseguides.

5. Disseny conceptual mecànic

Tal i com s'ha explicat prèviament, l'objectiu d'aquest treball és veure si es possible adaptar un quad convencional de combustió a un elèctric. Un cop ja es tenen totes les parts elèctriques seleccionades, s'han de col·locar a la ja existent estructura. En la següent imatge es pot veure la solució proposada i a continuació es desglossarà part per part.

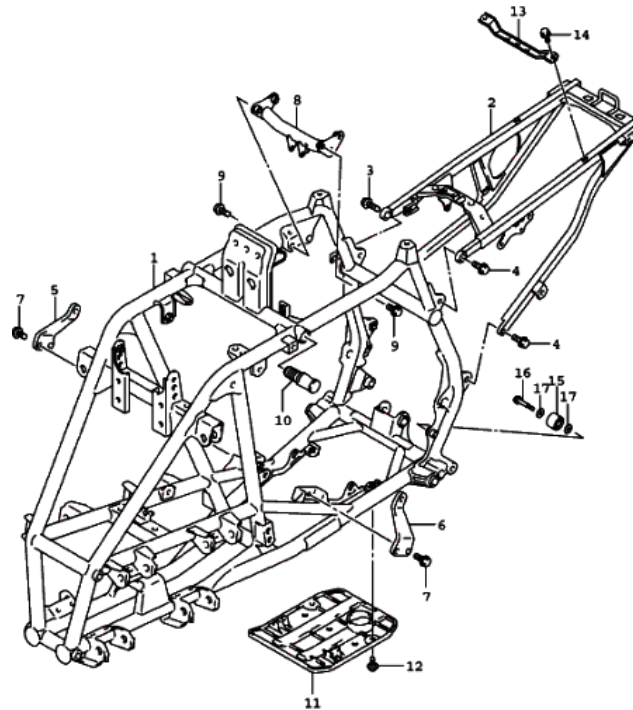


Imatge 7. Renderitzat del producte final sense carrosseria.

5.1. Xassís

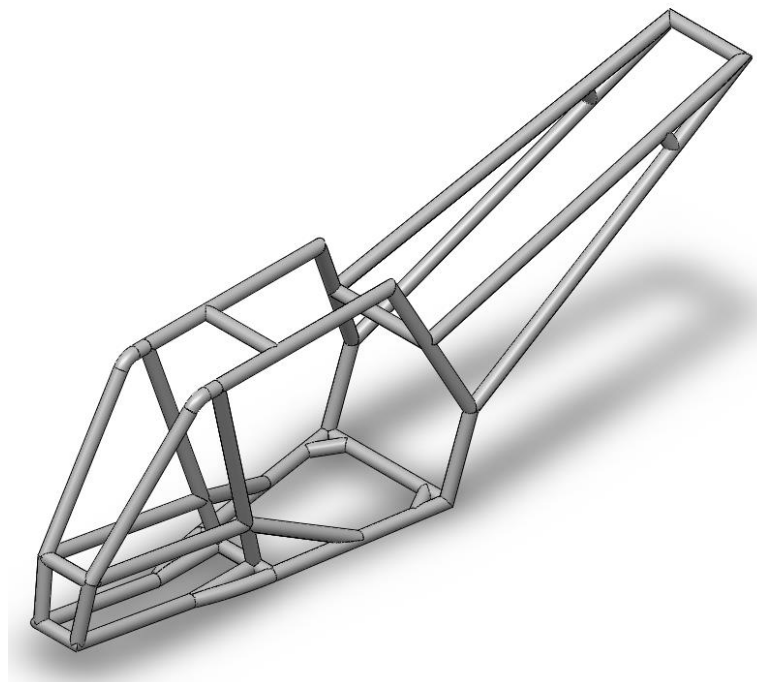
El primer pas és veure l'espai disponible un cop extretes les parts del motor de combustió, com són el propi motor, els tubs d'escapament, la bateria, el sistema de refrigeració, el canvi de marxes, la bomba de gasolina, el dipòsit de gasolina i el d'oli, entre altres.

El xassís està basat en el Suzuki LT-Z400, ja que al tenir-ne un del qual prendre mesures, és possible aproximar millor el disseny a la realitat. El xassís d'un Suzuki LT-Z400 és el següent.



Imatge 8. Xassís d'un Suzuki LT-Z400 amb tots els suports. [12]

La nostra aproximació a aquest ha sigut la següent imatge. Els suports per a altres peces seran afegits més endavant.

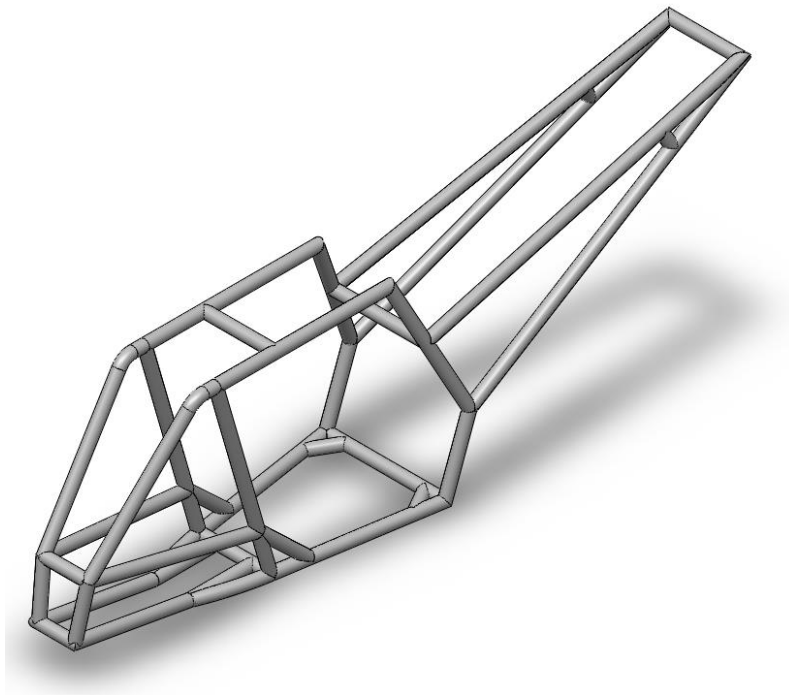


Imatge 9. Model en SolidWorks del xassís d'un Suzuki LT-Z400.

Com s'aprecia, l'espai buit del cos principal és l'únic lloc on és possible encabir les quatre bateries (de 280x234x125 mm) escollides a la part elèctrica [13]. El motor no es situarà dins del cos principal sinó al basculant com està explicat en el punt 5.5.2. Després de varies disposicions diferents de les bateries no n'hi ha cap que compleixi el següent.

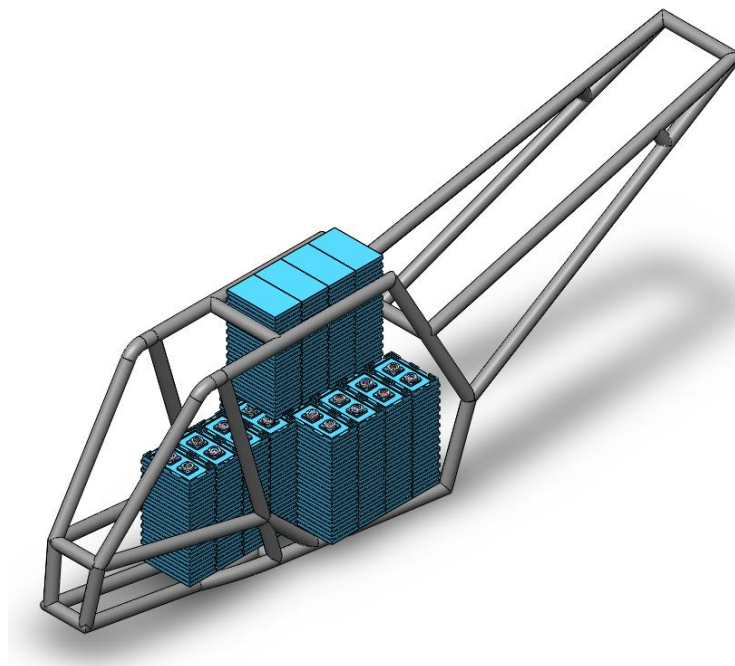
- Fàcil extracció per a possible recanvi.
- Exposició de les dues cares amb més àrea al flux de vent per a una correcta refrigeració.
- Simetria respecte el pla vertical longitudinal per assegurar bon equilibri.

Per tal de complir dites condicions, es va optar per obrir els elements estructurals tubulars verticals centrals i reduir el triangle de suport que surt d'aquests, tal i com s'aprecia a la *imatge 10*.



Imatge 10. Model en SolidWorks del xassís modificat.

D'aquesta manera ara és possible encabir les bateries. S'ha deixat prou espai entre elles perquè no s'escalfin i també prou espai per poder-hi fer totes les connexions elèctriques necessàries. Tot i això, seria recomanable fer un estudi termotècnic per assegurar que no hi hagi la possibilitat que es sobreescalfin. Un plànol d'aquest xassís pot ser trobat a l'Annex 4.



Imatge 11. Proposta per al posicionament de les bateries a l'interior del xassís.

Els altres components escollits com el BMS o el convertidor tenen un volum molt reduït i no hi ha cap problema per encabir-lo dins del xassís, màxim caldrien uns suports addicionals per fixar-los. En les imatges de l'assemblatge final s'han deixat flotant just a sota del manillar simplement per demostrar el seu tamany en proporció a la resta.

5.1.1. Estructura

El xassís (o *frame* en anglès) és l'element estructural principal d'un quad, l'esquelet. S'encarrega de mantenir juntes totes les diferents parts i donar-li rigidesa. Així doncs és imprescindible que sigui fet un material tenaç, com pot ser un metall com l'alumini o l'acer.

Ja que ens basem en models de combustió ja existents, tot el xassís del cos principal estarà fet d'acer. [14]

La secció s'ha mantingut la del xassís original, ISO 26,9 x 3,2 mm. Això vol dir que cada perfil del nostre xassís mesurarà 26,9 mm de diàmetre exterior i 20,5 mm interior. La secció circular assegura que resistirà bé vingui d'on vingui la força i amb aquest gruix no s'ha de patir per les tensions que rebrà el quad en condicions del dia a dia. Tot i això, sens dubte caldria un estudi amb elements finits que no ha donat temps de realitzar.

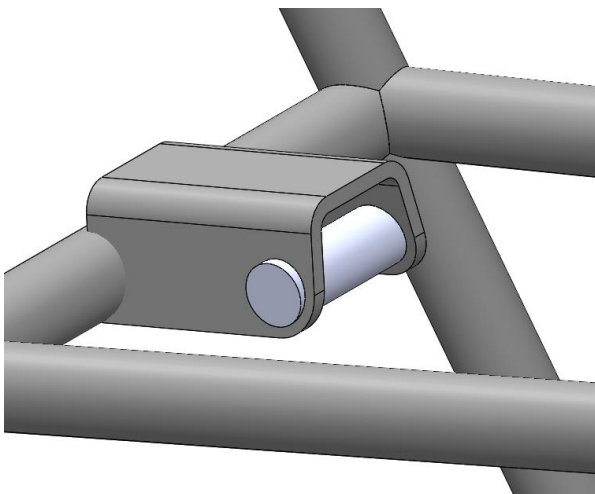
El xassís està format de diferents elements estructurals tubulars units entre sí per soldadura. L'acer es dels materials més fàcil de soldar i no s'ha de prendre mesures addicionals.

5.1.2. Suports i altres unions

Per tal d'unir cada una de les diferents parts i eixos al xassís són necessaris un seguit de suports. Per a tal fi s'han dissenyat un seguit d'unions que no pretenen ser res més que una aproximació de les usades en el xassís original.

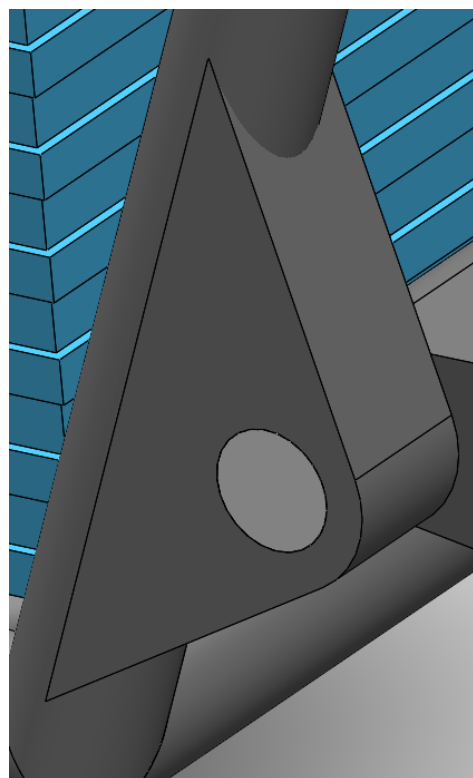
Per a suportar les bateries s'ha dissenyat diferents tipus de suport per tal de restringir tant com es pugui qualsevol moviment que poguessin patir. Malauradament als esquemes de les bateries escollides que hi havia a la xarxa no esmentaven on hi havia forats per cargols així que el posicionament dels forats són aleatoris.

El suport per a les suspensions frontals ha sigut basada en la seva totalitat amb l'original. Aquesta va directament integrada al xassís i apart d'aportar rigidesa estructural serveix de suport per l'eix superior de les suspensions frontals.



Imatge 12. Suport superior de la suspensió posterior.

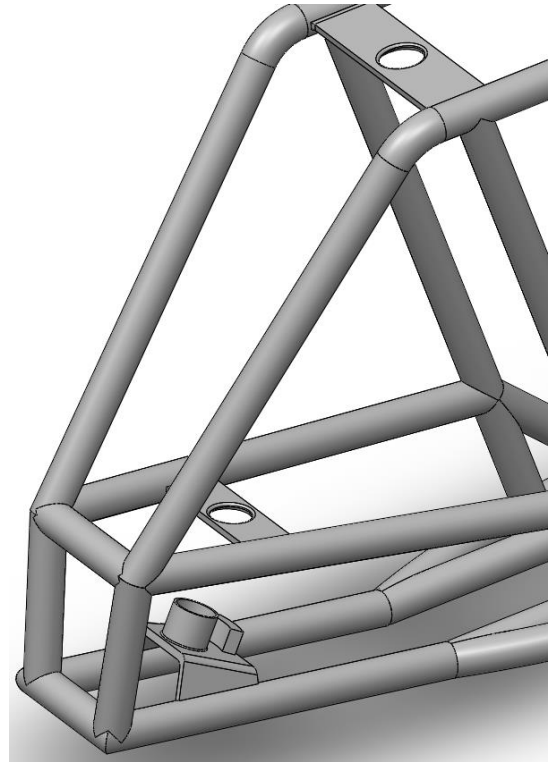
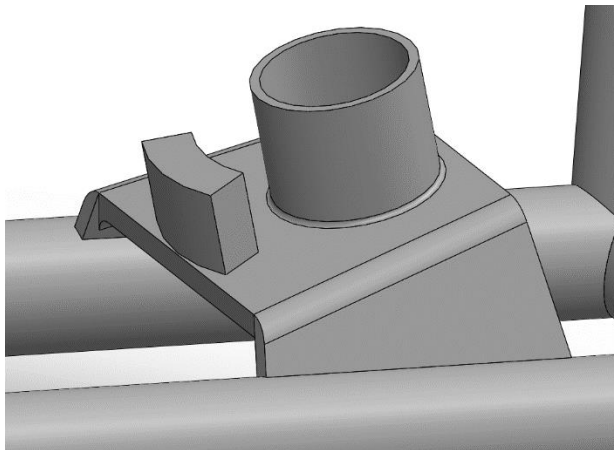
A la part posterior es fa servir un suport amb un perfil que li permet resistir més a flexió.



Imatge 13. Suports per l'eix del basculant.

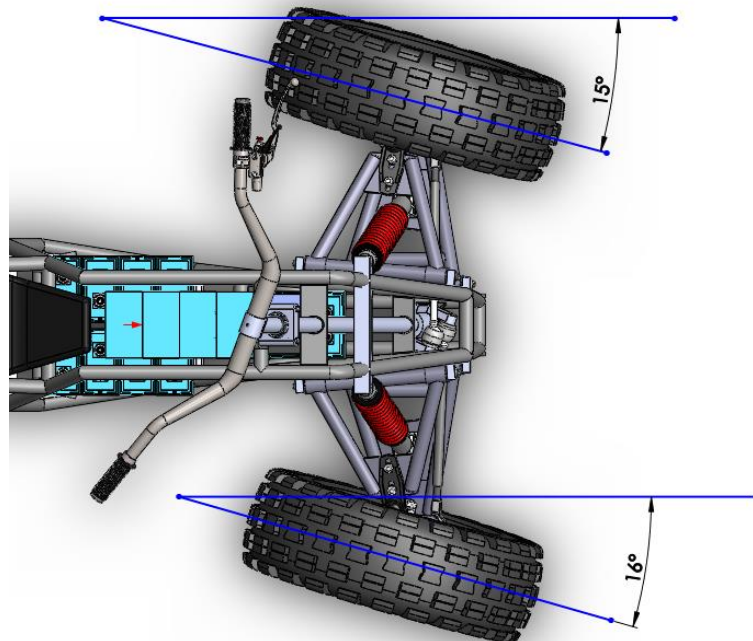
El basculant sens dubte que rebrà gran esforços així que es important reforçar la unió que uneix el seu eix amb la resta del xassís.

Aquests suports estan perfectament alineats amb el manillar i prevenen que es desviï. Addicionalment la peça inferior serveix com a limitador de l'angle de gir, ja que sinó tocarien els braços de la direcció amb l'eix del manillar o amb la suspensió.



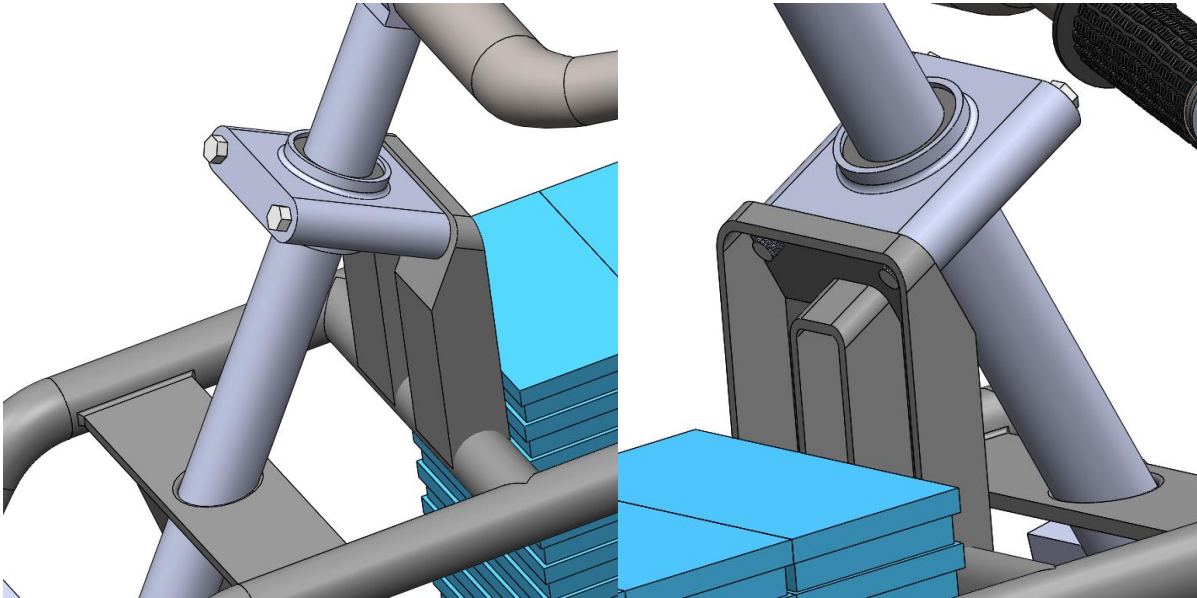
Imatges 13 i 14. Guies per l'eix del manillar.

Quan el manillar toca el límit de la imatge 13, l'angle de gir màxim és del voltant de 15° , suficient pel seu funcionament correcte.



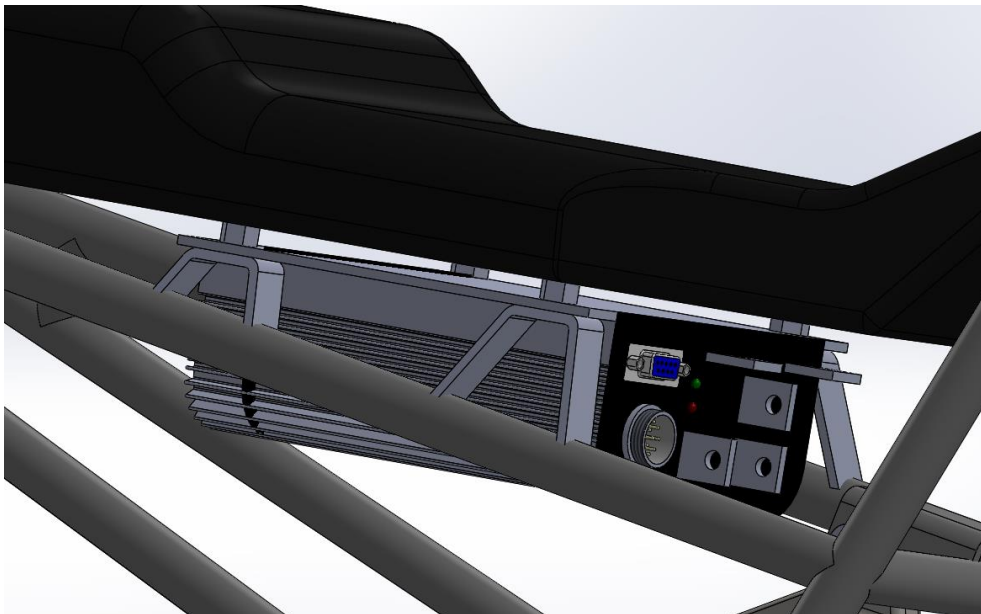
Imatge 15. Angle màxim de gir.

A les imatges següents es mostra la peça usada per fixar l'eix del manillar al xassís tot permetent el seu gir gràcies a coixinets que redueixen el fregament.



Imatges 16 i 17. Peça que serveix per unir l'eix del manillar amb el xassís.

El controlador, degut a ser força voluminós s'ha decidit col·locar al sub-xassís situat a sobre el basculant, unit amb els suports de la *imatge 18*.



Imatge 18. Detall de com està subjecte el controlador sota el seient.

Aquesta situació del controlador és ideal per a un fàcil recanvi i la distància deixada entre aquest i el seient (10 mm) és suficient perquè no hi hagi problemes de sobreescalfament. Tot i així, com moltes altres coses d'aquest treball, caldria un estudi específic per corroborar-ho.

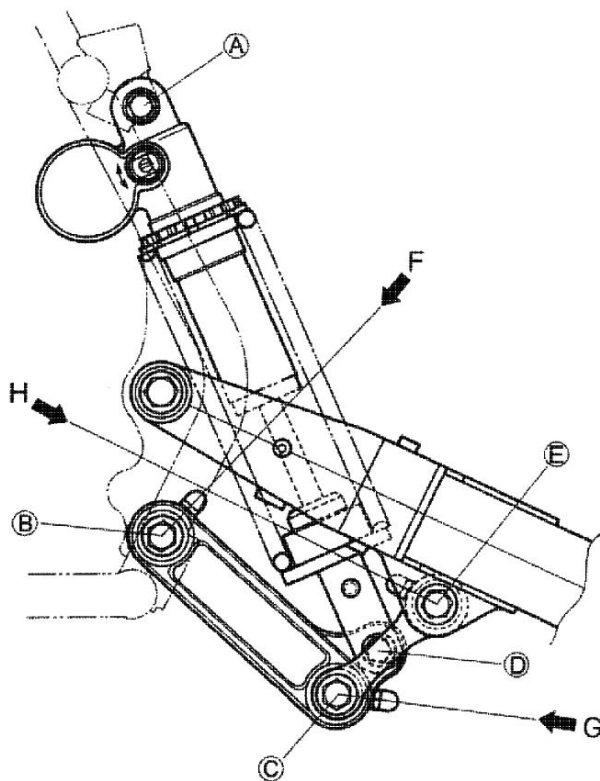
5.2. Les suspensions

Les suspensions són els elements encarregats de mantenir el vehicle a una alçada relativa del terreny, i absorbeixen possibles irregularitats i soroll per tal de millorar l'experiència del conductor. Tot i això, una altra funció de les suspensions és assegurar que el vehicle tingui sempre les quatre rodes en contacte amb el terra, ja que sinó es pot perdre control d'aquest.

5.2.1. Suspensió posterior

El sistema de suspensió és heretat de les motocicletes, on després de molts anys de desenvolupament s'ha anat optimitzant i actualment la configuració més utilitzada és el sistema progressiu amb un únic amortidor. [15]

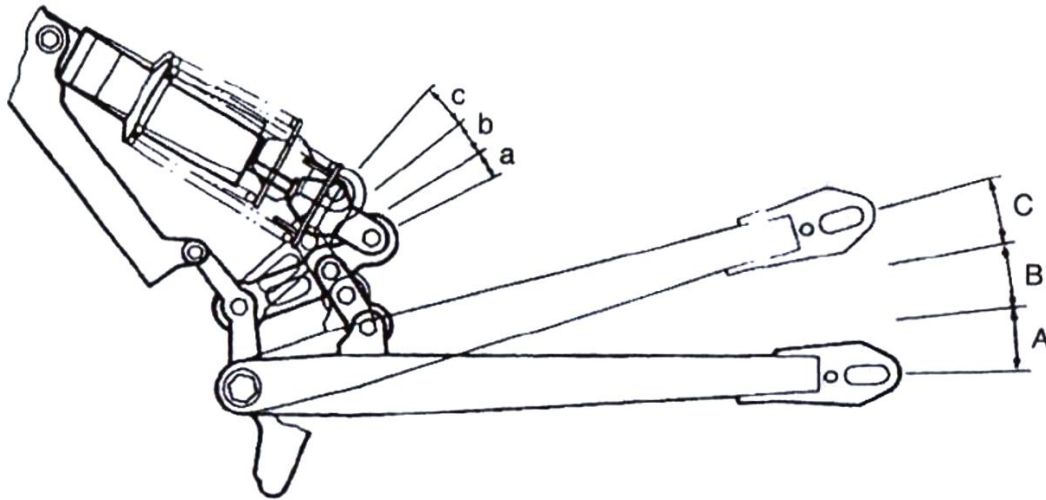
Es precis mencionar que al afegir pes al basculant, ja que el motor pesa 29,8 kg [9], caldria fer un estudi dinàmic de les constants de la molla i l'amortidor.



Imatge 19. Sistema de suspensió progressiva.

Aquest mecanisme està format pel basculant i dues bieles, una d'elles unida al xassís i l'altra al basculant, estant unides entre elles. L'amortidor està unit al xassís en un extrem i a una de les bieles en el altre. D'aquesta manera aconseguim que el recorregut de l'amortidor sigui

diferent per al mateix desplaçament del basculant. Així, quant major sigui el desplaçament del basculant, la força que farà la suspensió augmentarà molt i no pas de manera lineal.



Imatge 20. Recorregut de l'amortidor en front del del basculant.

Com es pot veure a la *imatge 20*, tot i que els desplaçaments “A”, “B” i “C” són iguals entre sí; “a”, “b” i “c” no ho són, sent “c” més gran que “a”. En el nostre cas però les dues bieles estaran per sota del basculant, i per tant requerirà un forat en aquest per poder passar l'amortidor.

5.3. Les rodes



Imatge 21. Suzuki LT-Z400 on s'aprecia la diferència entre els pneumàtics anteriors i posteriors.

Les rodes són els elements que estan en contacte amb el terra. Els pneumàtics s'han deixat idèntics a l'esmentat model original.

- Davant: AT22x7 R10 tubeless
- Darrere: AT20x10 R9 tubeless

Això es tradueix en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

- AT: All Terrain
- 22: Diàmetre de la roda en polzades (558.8 mm)
- 7: "Trepitjada". Amplada del contacte amb el terra en polzades (177.8 mm).
- R: Radial
- 10 o 9 : Amplada de la llanta en polzades (254 mm).
- Tubeless: pneumàtic que no requereix cambra d'aire. [17]

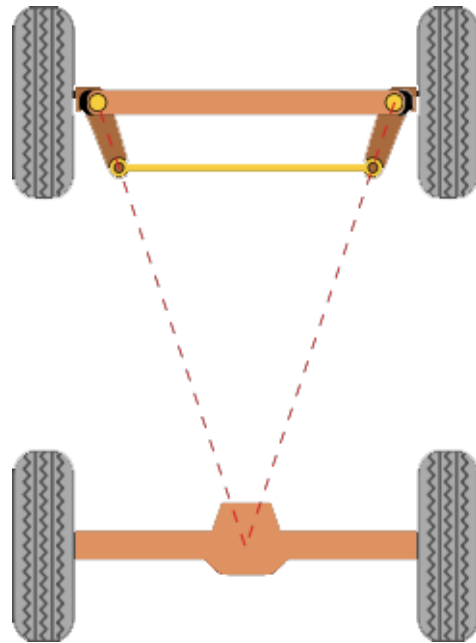
La pressió dels pneumàtics hauria de ser del voltant de 0,4 a 0,5 bar. Tot i que una pressió baixa afavoreix de fer osques a les llantes en cas de col·lisió contra una roca, augmenta la superfície de contacte i per tant l'adherència, recomanada per sorra. [18] Altre cop, caldria precisar la pressió correcta de les rodes amb el nou pes del vehicle.

5.4. Direcció

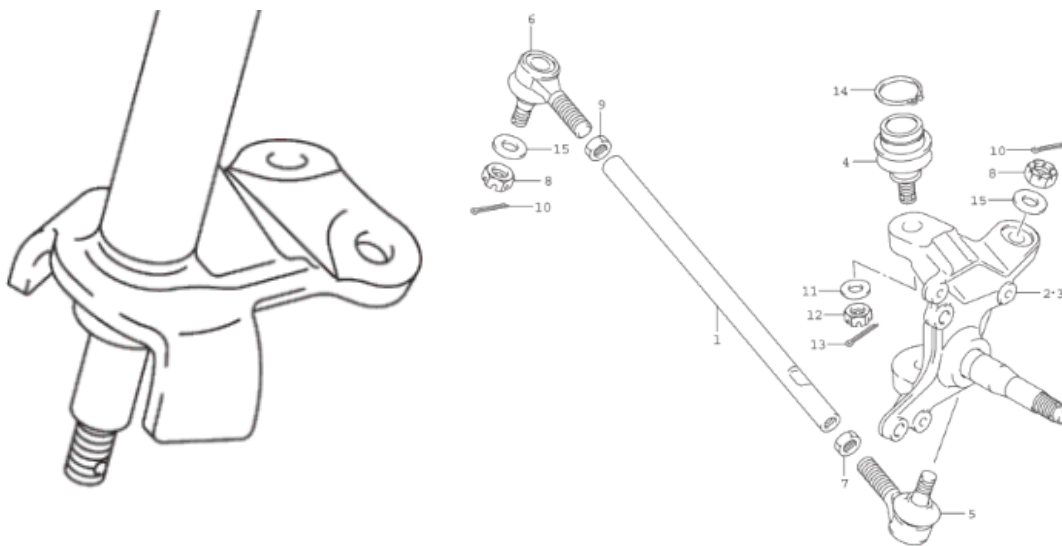
La direcció és el mecanisme encarregat de fer moure les rodes a través del manillar per tal de dirigir-se cap a la orientació que es vulgui. El problema principal resideix en què les quatre rodes han de girar respecte el mateix punt per tal que cap d'elles rellisqui. Aquest punt és anomenat Centre Instantani de Rotació (CIR).

Per tal de fer que les perpendiculars a la velocitat de les rodes coincideixin en el mateix punt es fa servir un triangle de Ackermann 0, altrament anomenat trapezi de direcció. El disseny original proposa el disseny de la dreta.

Tot i això, la direcció del Suzuki LT-Z400 és força diferent. Primerament no hi ha un trapezi en sí, sinó que hi ha dos braços que surten de la unió de la roda i van a parar a una unió amb el manillar directament com es veu a les *imatges 23 i 24*.



Imatge 22. Triangle d'Ackermann.

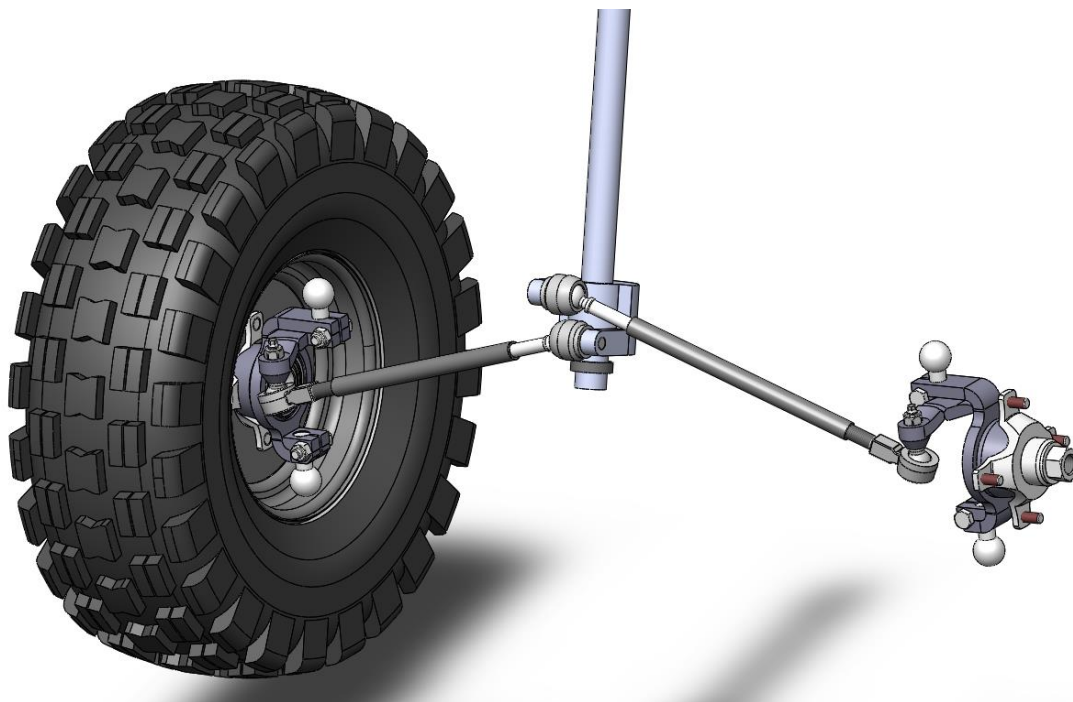


Imatges 23 i 24. Detall del sistema de direcció d'un Suzuki LT-Z400. [12]

Això és degut a que a la realitat, les perpendiculars a la velocitat de la roda no es troben al CIR i per tant no compleixen el triangle d'Ackermann. Però amb el poc angle de gir de les rodes aquesta diferència és ínfima. A més a més, el fet de que els ATV vagin amb pneumàtics

de poca pressió fa que es puguin deformar una mica i disminueixin l'efecte de no tenir les dues rodes alineades amb el CIR.

S'ha decidit fet una modificació a la unió entre el manillar i els braços de direcció per aproximar millor el resultat.



Imatge 25. Model 3D del sistema de direcció.

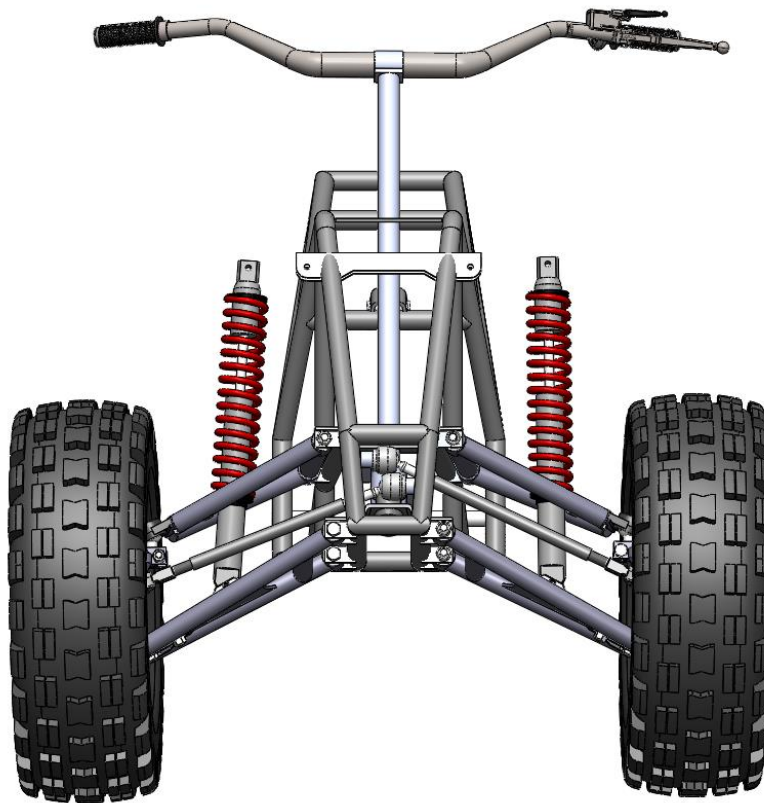
Aquesta nova peça situa les dues unions dels braços amb el manillar una sobre l'altra respecte l'eix de la direcció. Evidentment un dels dos és més llarg que l'altre i ja s'ha adaptat per tal que amb el manillar recte les dues rodes anteriors vagin en paral·lel. Això presenta el problema de que quan la suspensió varia, al no estar girant respecte al mateix punt, hi haurà una petita desviació en la direcció. És per això que vull tornar a remarcar que aquest és disseny només una aproximació.

És important denotar que al ser els suports de les rodes dos tetraedres, no roten respecte la unió direcció-manillar i això produeix un error en la direcció per a diferents posicions de les suspensions. Tot i això, pel recorregut d'aquestes suspensions aquest error és negligible.

Adicionalment, aquesta rotació dels tetraedres mòbils fa que depenent de la posició les rodes no estiguin tota l'estona en posició vertical, tal i com es pot veure a les *imatges 26 i 27*.



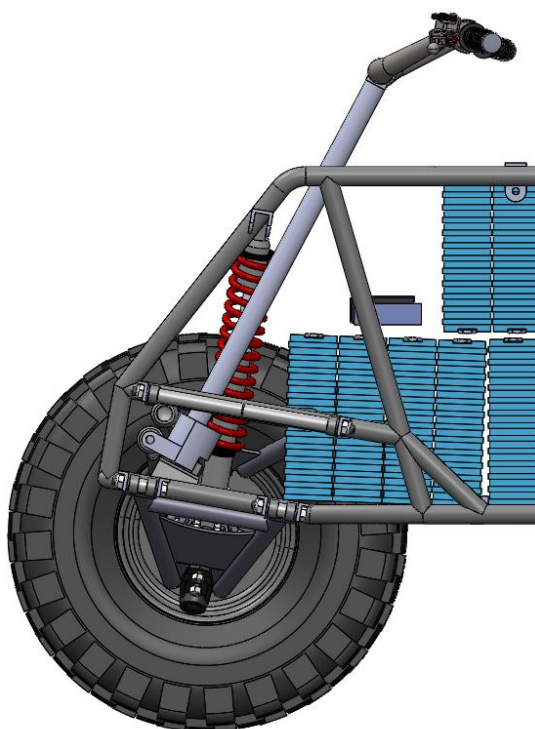
Imatge 26. Suspensió al seu mínim recorregut. Les rodes es tanquen per dalt.



Imatge 27. Suspensió al seu màxim recorregut. Les rodes s'obren per dalt.

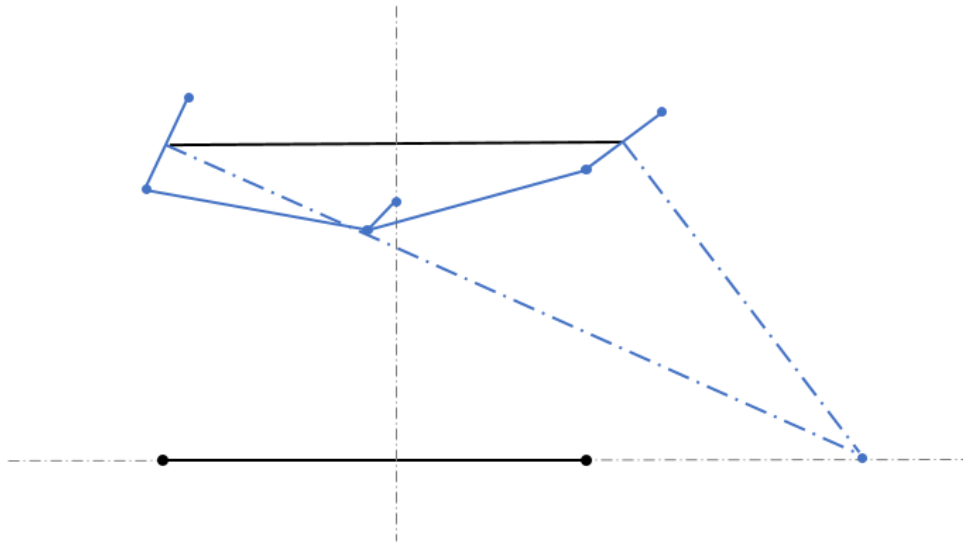
5.4.1. La direcció per davant

Com es pot apreciar a les imatges anteriors, la unió de la suspensió amb els braços de direcció passa per davant de l'eix del manillar. Aquesta és la diferència mecànica més gran respecte el model original. La raó per la qual s'ha optat a canviar la posició d'aquesta és degut a que al tenir les bateries a dins del cos del xassís, l'eix del manillar s'ha hagut d'inclinar molt respecte l'original (veure *imatge 28*). Això al seu temps feia que els braços de direcció toquessin amb la suspensió davantera per a certs angles de gir.

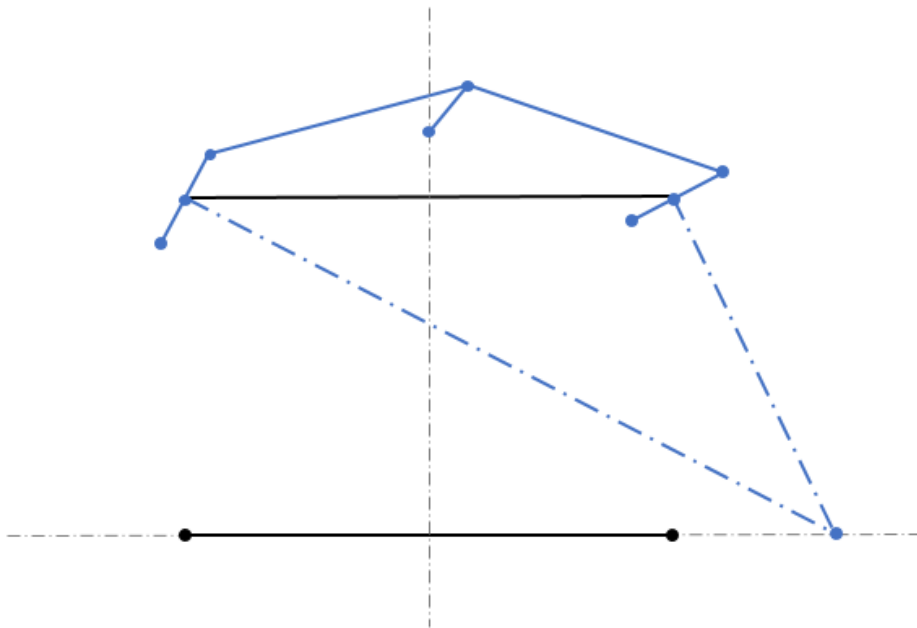


Imatge 28. Inclinació de l'eix per culpa del volum de les bateries.

La solució ha sigut senzilla. S'ha col·locat el mecanisme de la direcció davant del l'eix del manillar. L'únic inconvenient que presenta aquesta disposició és que queda més vulnerable a cops frontals. Tot i això, no afecta en cap moment al concepte, com es pot veure a les *imatges 29 i 30*.



Imatge 29. Concepte original amb la direcció darrere el manillar.



Imatge 30. Concepte per posar la direcció per davant del manillar.

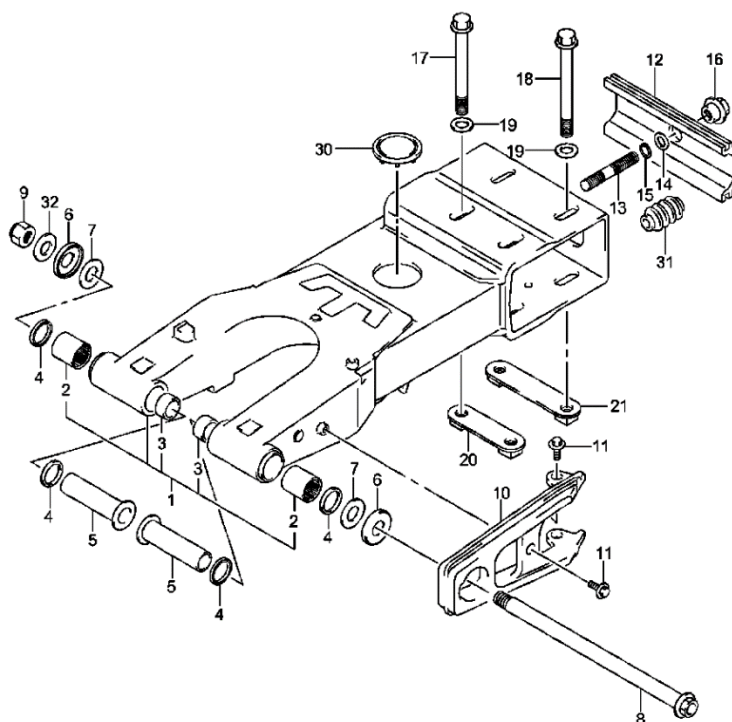
5.5. Basculant

5.5.1. Cos basculant

Com la resta del xassís, el basculant ha de ser rígid. Ha de ser-ho especialment ja que en cas de deformar-se, la cadena que va del motor a l'eix posterior podria destensar-se i sortir o tensar-se i trencar. També és important que no es deformi perquè podria afectar a la direcció del vehicle, ja que està directament unit al eix posterior.

Ha de ser lleuger ja que forma part de les masses suspeses. Un pes excessiu d'aquesta peça provocaria un mal comportament de la suspensió posterior, que es traduiria a una pèrdua de contacte de les rodes posteriors amb el terra després d'una irregularitat del terreny.

El basculant original del Suzuki LT-Z400 és d'alumini però molt robust i pesa 7kg. En vehicles de competició es fan servir acers al crom o molibdè, els més coneguts dels quals són el 4130 Chromoly, el 15CD V6 i el 25CD 4S, sent el primer el més utilitzat.



Imatge 31. Cos basculant Suzuki LT-Z400. [12]

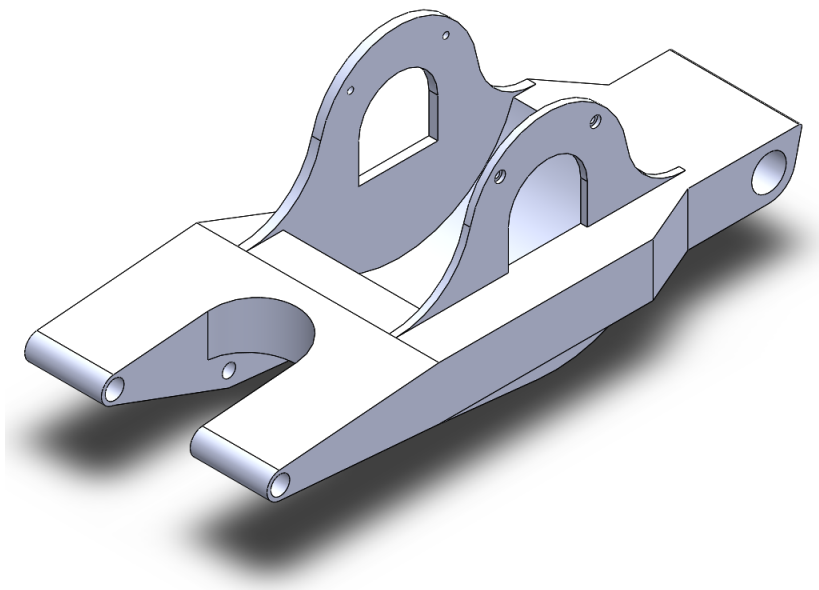
5.5.2. Motor

Un gran avantatge dels motors elèctrics és el seu reduït tamany en comparació d'un de combustió. Això permet resoldre un problema molt bàsic.

Com que l'eix posterior gira entorn a l'eix del basculant i no pas respecte l'eix de sortida del motor, la distància entre l'eix posterior i el del motor és variable i és impossible fer una transmissió directa. Per aquesta raó primer es transmet el parell a l'eix del basculant i des d'aquest al posterior.

Gràcies al reduït tamany dels motors elèctrics el podem situar directament al basculant i així es pot transmetre el parell directament del motor a l'eix posterior, ja que la distància entre ells no canviarà.

El motor escollit es un PMS 156 de Heinzmann el model i els plànols 3D del qual són a la seva pàgina web [9]. Això permet poder modificar el basculant per tal d'encabir-lo. L'aproximació ha sigut la següent:

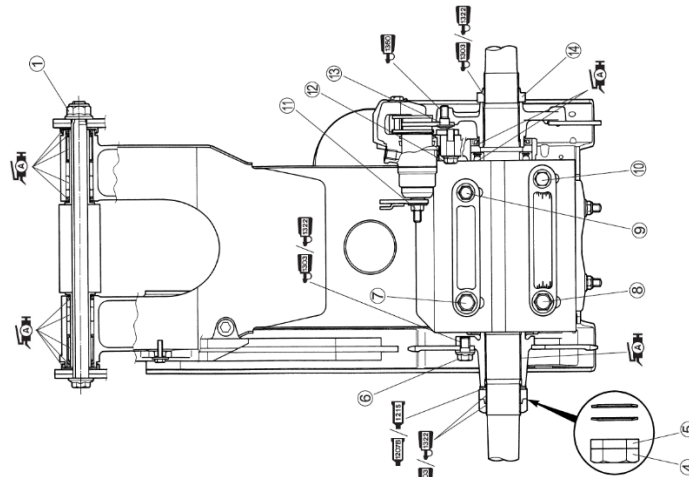


Imatge 32. Model 3D del basculant proposat.

Tal i com es pot veure a la *imatge 31*, el basculant original d'un Suzuki LT-Z400 és pla. En aquest treball s'ha fet un forat semicircular en el centre per tal de que hi càpiga el motor, i dues platines a cada banda d'aquest per poder-lo subjectar. També s'hi ha fet forats que quadren amb forats del model 3D per a cargols. El propi basculant protegirà el motor de qualsevol cop que pugui rebre per sota i laterals.

Degut a que s'ha hagut de treure material del lateral per poder passar la cadena, la part que protegeix el motor també servirà d'element estructural, d'aquí seu gruix.

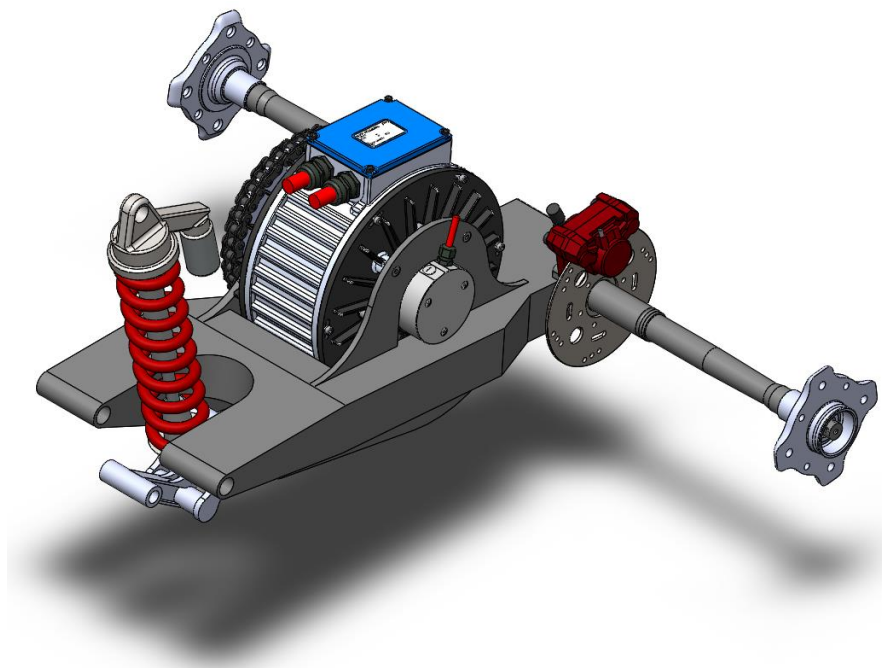
Com s'ha esmentat anteriorment, es deixa un forat al costat de l'eix del basculant perquè hi pugui passar la suspensió i es prepara l'eix per on passarà una de les dues bieles.



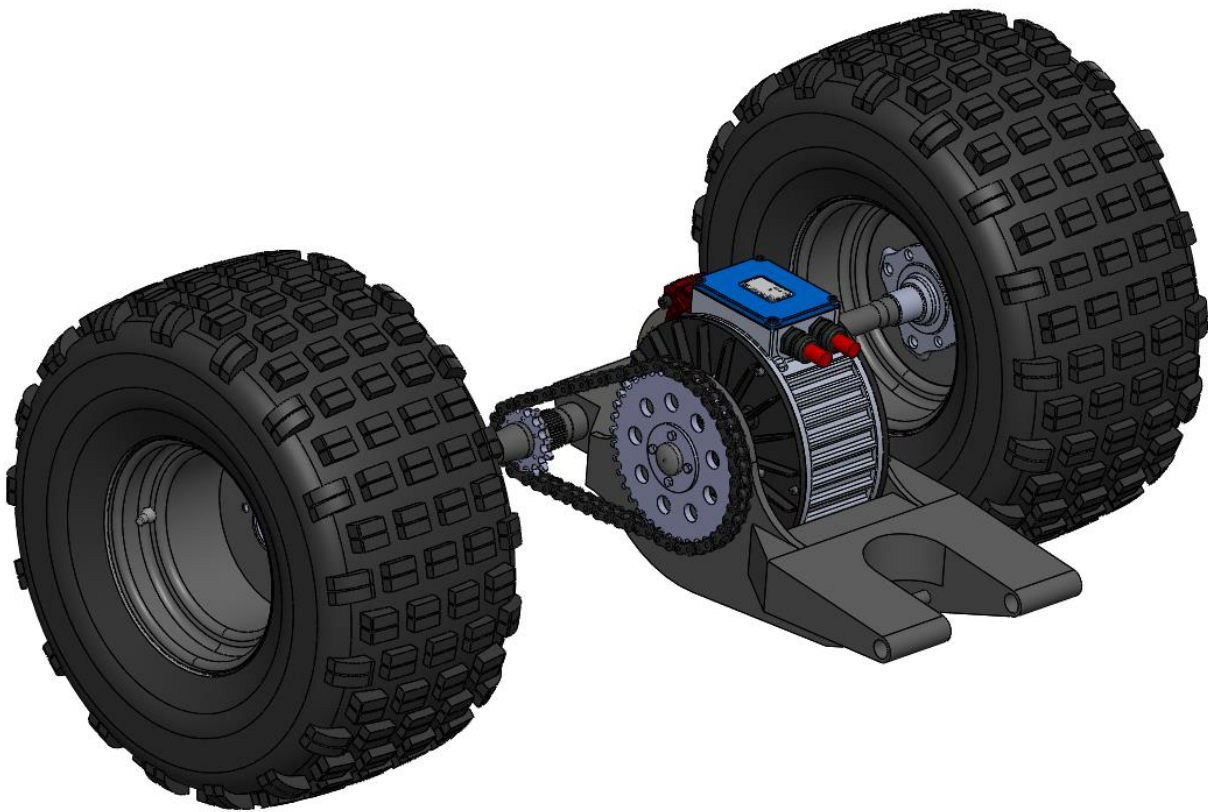
Imatge 33. Interior del basculant d'un Suzuki LT-Z400. [12]

A la part posterior del basculant es prepara el forat per on passarà l'eix. A la realitat aquesta unió és bastant més complicada (*imatge 33*) però ara només s'està fent un disseny conceptual. Per altra banda, es redueix l'amplada del basculant a la part posterior perquè a l'esquerra hi càpiga el fre i a la dreta la cadena de transmissió. Com haurà pogut observar, no hi ha diferencial per la transmissió, i per tant les dues rodes posteriors giraran a la mateixa velocitat angular, de tal manera una de les dues rodes en una corba lliscarà. Actualment en gairebé cap disseny de quad existeix diferencial a l'eix de tracció.

Per tal de subjectar el fre s'hi afegeixen dos suports. El resultat final és el següent:



Imatge 34. Assemblatge de totes les components en contacte amb el basculant.

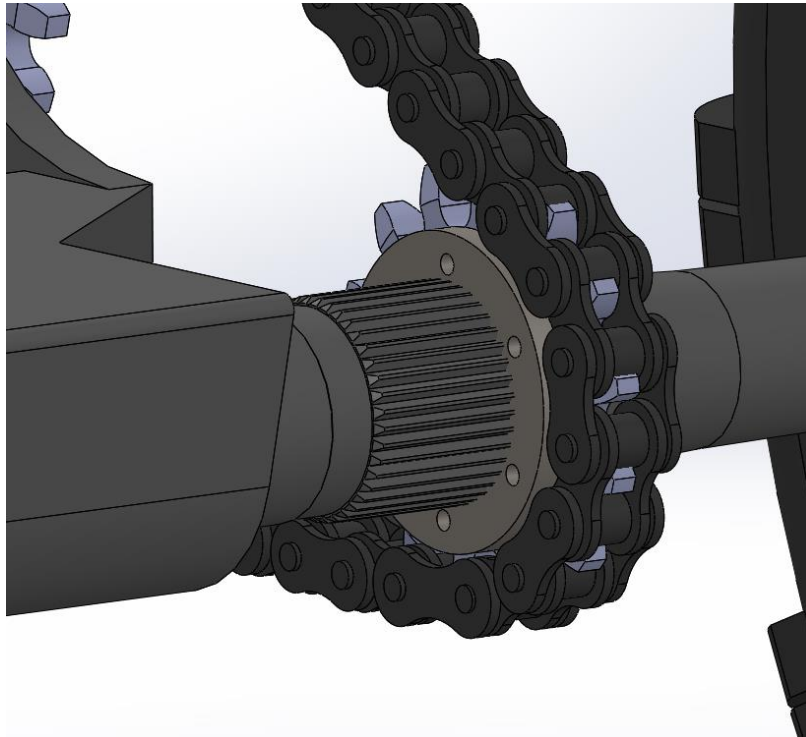


Imatge 35. Assemblatge de l'eix posterior.

5.5.3. Plat motor i cadena

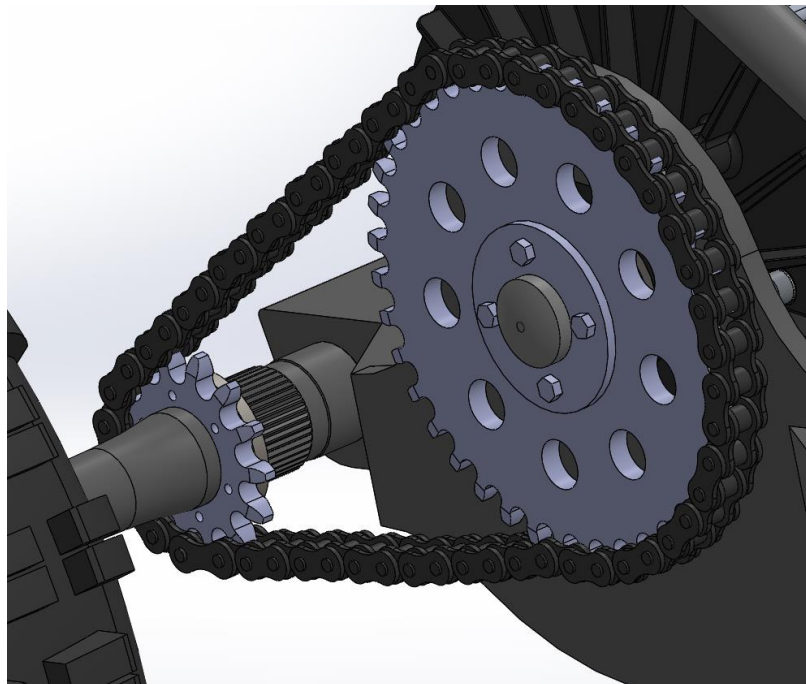
El parell que surt del motor s'ha de transmetre a l'eix posterior. Gràcies al simulador explicat anteriorment, s'ha pogut extreure una relació "i" entre el plat i el pinyó per tal d'aconseguir una velocitat màxima del vehicle entre 40 i 50 km/h. Aquesta relació és de 3:1 i s'aplica tant al radi com a les dents. S'ha usat el pinyó de mínim nombre de dents, 13, per tal de reduir el radi del plat. Un menor nombre de dents reduiria massa la superfície de contacte entre les dents i la cadena, i podrien rebre massa pressió i deformar-se o gastar-se abans d'hora.

Per assegurar que el pinyó no es mourà al llarg de l'eix, està situat en una "vall" d'aquest. Per tal de transmetre bé el parell que rep de la cadena i que no rellisqui s'ha procurat un estriat. Per tal d'augmentar la zona de contacte se li ha unit una platina.



Imatge 36. Detall de l'estriat i la platina.

Per altra banda, el plat que està en contacte amb l'eix del motor ha necessitat una platina addicional collada a ell ja que el l'eix de motor de Heinzmann ve amb una sola xaveta i això acabaria desgastant el plat. També s'ha situat un tap enroscat per tal que ni la platina ni el plat surtin de l'eix.



Imatge 37. Detall dels dos plats i la cadena.

5.6. Eix posterior

5.6.1. Fre

Hi ha diversos tipus de frens depenent de la manera com funcionen.

- De fricció: transformen l'energia cinètica a calor. Normalment fan servir un sistema hidràulic per transmetre la força que fa el conductor, ja que així es poden fer circuits més complicats.
 - Fre de disc: aplica la fricció a un disc solidari amb l'eix. Normalment estan fets de ferro fos.
 - Fre de tambor: un conjunt de platines que fan pressió cap enfora contra un cilindre solidari amb l'eix. Usualment fets servir per al fre de mà, a vegades es fan servir en vehicles pesats degut a que la major superfície de contacte es tradueix amb més fricció i per tant a més frenada.

FRE DE DISC

Dissipa millor la calor.
Més fàcil de renovar.

FRE DE TAMBOR

Frena més.
Queda protegit contra aigua o fang.
Més barato.



Imatges 38 i 39. Fre de disc i de tambor, respectivament. [20][21]

- Electromagnètics: converteixen l'energia cinètica a electricitat.
 - Fre reostàtic: converteix l'electricitat a calor a través d'unes resistències.
 - Fre regeneratiu: transfereix l'electricitat a una bateria. El principal problema és que l'electricitat és generada en corrent altern i la bateria és corrent continu. Es necessita un convertidor per transformar el corrent i ajustar el voltatge.

En aquest treball i basant-se amb el model original d'un Suzuki LT-Z400, s'incorporarà un fre de disc a l'eix posterior. Aquesta decisió és deguda a que el fre de tambor no està pensat per frenar contínuament i en el nostre cas s'escalfaria i les platines es deformarien ràpidament.

6. El conjunt acabat

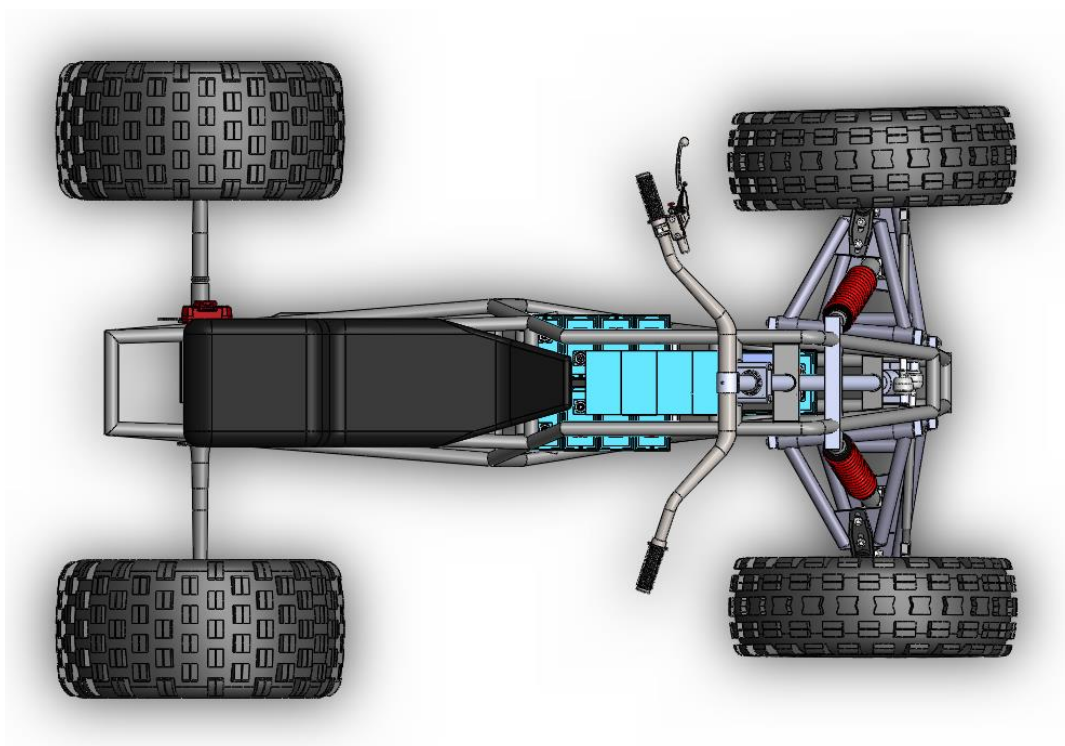
Per finalitzar el treball, en munten totes les peces juntes i es fa un renderitzat per ordinador. Addicionalment s'ha afegit una carrosseria d'un altre quad per veure que realment el nostre producte té un aspecte ben corrent, i també un maniquí per demostrar que té unes dimensions normals i còmodes per a l'usuari.



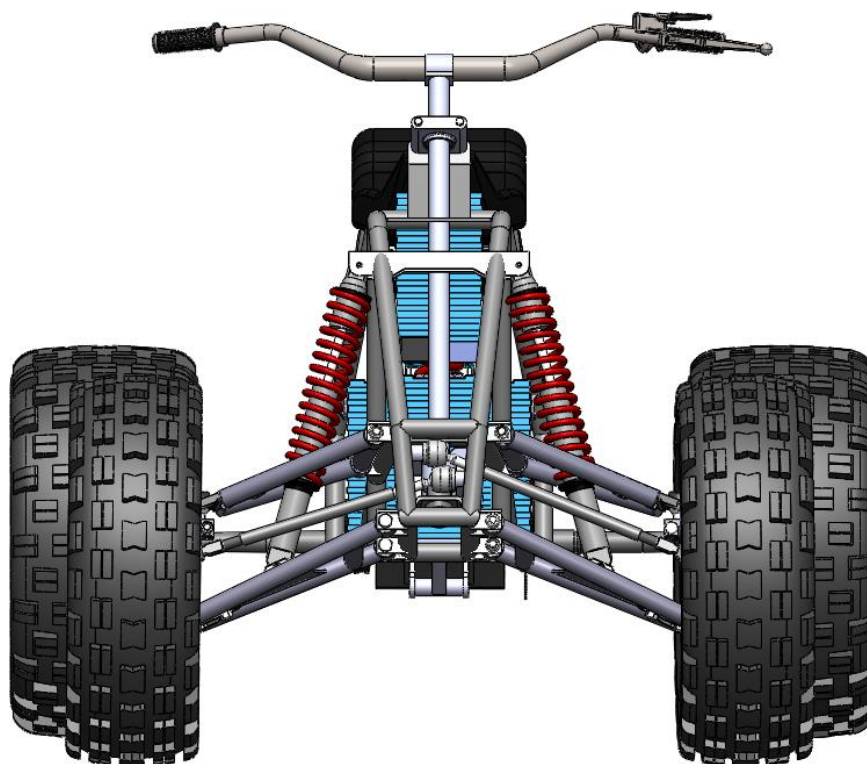
Imatge 40. Assemblatge final sense carrosseria.



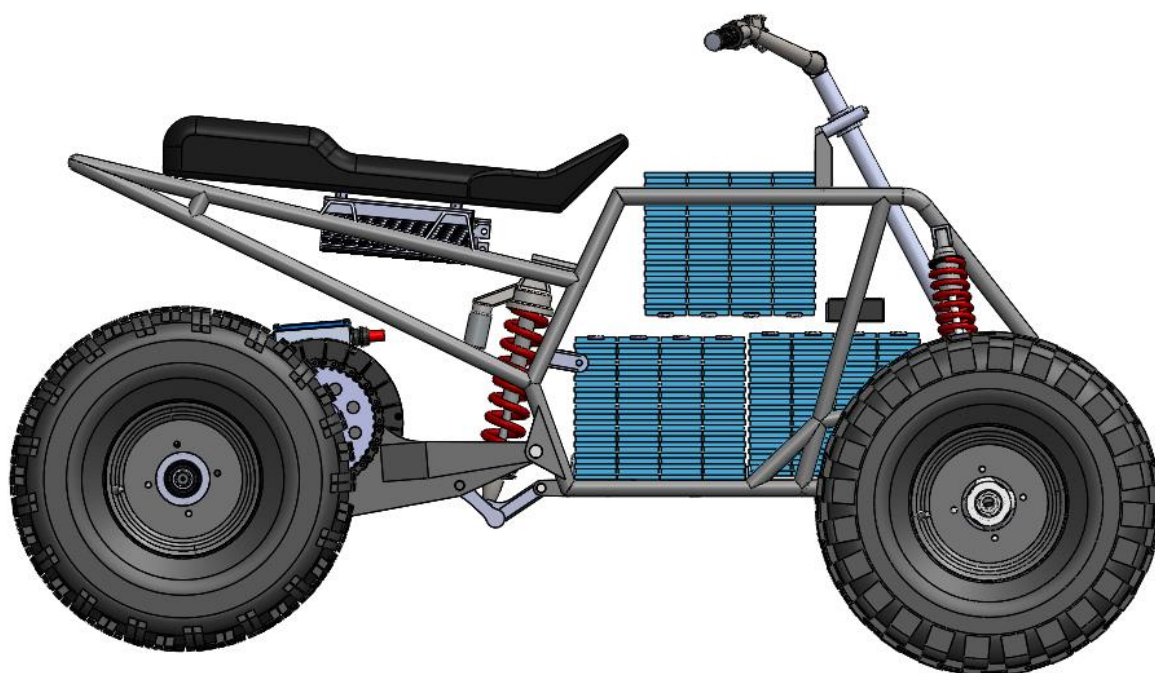
Imatge 41. Assemblatge final amb carrosseria i maniquí.



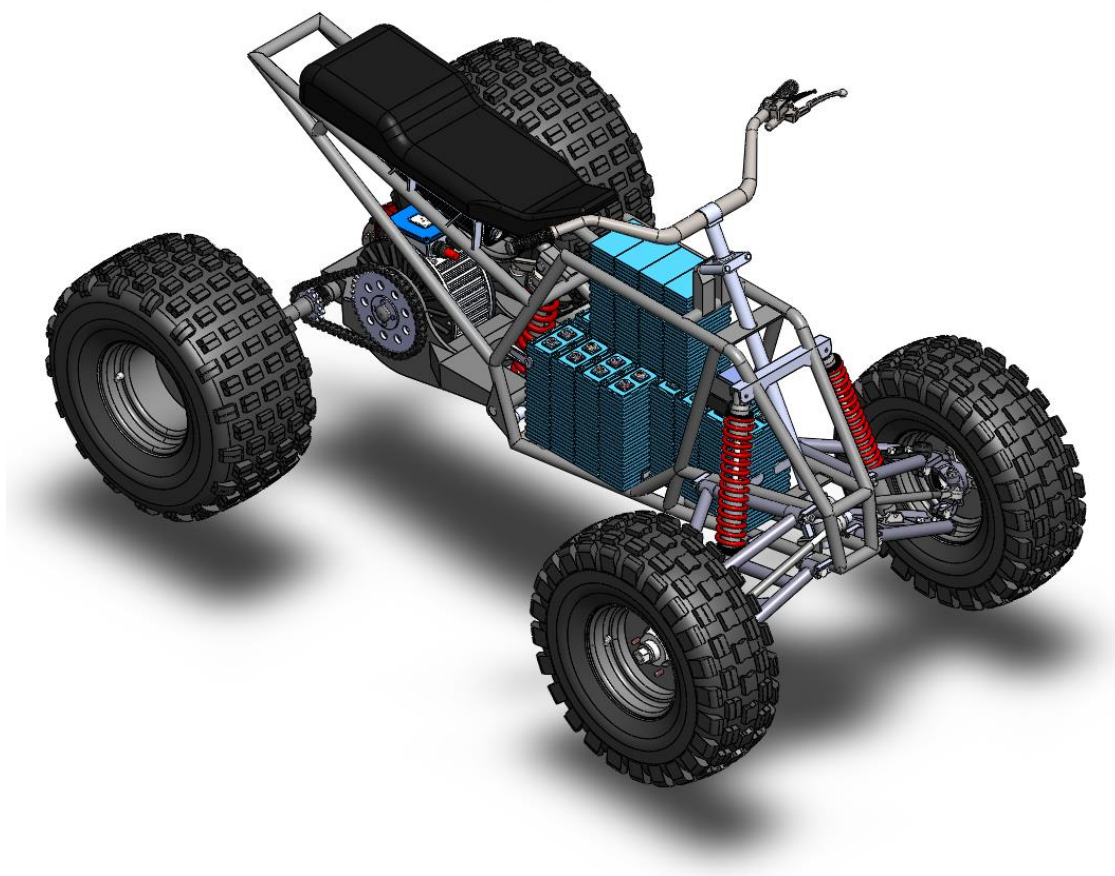
Imatge 42. Vista superior de l'assemblatge.



Imatge 43. Vista frontal del producte.



Imatge 44. Vista lateral de l'assemblatge.



Imatge 45. Vista isomètrica del disseny.

7. Normativa

El vehicle final haurà de ser matriculat per tal de poder circular. Per a tal fi s'ha de decidir si en quina categoria matricular-lo. [22]

| Classificació | Massa màxima en buit (kg) | Potència màxima (kW) | Vies autoritzades |
|----------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Quadricicle lleuger | 350 | 4 | Ni autopistes ni autovies |
| Quadricicle | 550 | 15 | Totes |
| Vehicle especial | - | - | Totes si es superen els 60km/h. |

Taula 4. Classificació dels quads segons la DGT.

Tot i que el vehicle final té una velocitat final i un pes aproximat de 250kg i això encaixaria amb la descripció de quadricicle lleuger, degut a que supera els 4kW de potència no es pot matricular en aquesta categoria.

Adicionalment com que no pot arribar als 60 km/h requerits per anar per autopista i autovia no pot ésser matriculat com a quadricicle i per tant ha de ser matriculat com a vehicle especial.

| | Permís | Placa matrícula | Ús de casc | ITV | Límit velocitat |
|-------------------------|--------|-----------------------------------|------------|---|-----------------|
| Vehicle especial | B | Fons blanc amb caràcters vermells | No | De 4 a 10 anys: biennal. Més de 10 anys: anual. | 70 km/h |

Taula 5. Normativa general quads.

Per tant, en dites excursions familiars haurà d'haver-hi un adult amb el permís de conduir B al manillar, sense necessitat de dur casc. Apart haurà de portar el següent.

- Fitxa tècnica del vehicle i complir les dimensions i cotes que hi figurin i núm. de xassís.
- Els neumàtics han de tenir les dimensions i pressió de la fitxa tècnica i estar en bon estat.
- Frens perfectament funcionals i suspensions ben tarades.
- Retrovisors en bon estat.
- Avisador acústic.
- Suport per a la matrícula i placa de velocitat màxima a la part posterior del vehicle.
- Compta-kilòmetres que funcioni correctament.
- Llums de posició, de creuament i de carretera homologats.
- Intermitents visibles i sense existeixi cap interferència en un angle superior a 10°.

8. Planificació i pressupost

A continuació es presenta un diagrama de Gantt per representar la planificació prevista per efectuar aquest projecte.

| | 2016 | | | | | | | | | | | | 2017 | | | |
|---------------------------|---------|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----|-------|---|---|---|
| | Octubre | | | Novembre | | | | Desembre | | | | | Gener | | | |
| Tasca\Setmana | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 1 | 2 | 3 |
| Estat de l'art | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estudi de mercat | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Especificacions | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Documentació | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Conceptes teòrics | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Especificacions | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simulador | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Disseny simulador | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Components test | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Disseny | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Xassís | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altres | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Legislació | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Impacte ambiental | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Planificació i pressupost | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Redacció memòria | | | | | | | | | | | | | | | | |

Gràfic 6. Diagrama de Gantt per representar la planificació.

Un pressupost preliminar per les meves hores dedicades seria el següent.

| Concepte | Quantitat (h) | Preu unitat | TOTAL |
|-----------------------|---------------|-------------|--------------------|
| Estat de l'art | 20 | 30,00 € | 600,00 € |
| Estudi de la temàtica | 100 | 30,00 € | 3.000,00 € |
| Disseny conceptual | 90 | 70,00 € | 6.300,00 € |
| Simulador | 50 | 45,00 € | 2.250,00 € |
| Dibuix | 30 | 50,00 € | 1.500,00 € |
| TOTAL | 290 | | 13.650,00 € |

Taula 6. Pressupost projecte.

9. Impacte mediambiental

Per tal de demostrar les avantatges mediambientals d'un ATV elèctric es procedeix a fer un estudi comparatiu de la petjada de carboni amb un quad convencional.

S'ha considerat que es buida tota la bateria 6 cops per setmana. Tenint en compte la proporció d'autonomies, per als ATV de combustió s'ha suposat que buiden 3 dipòsits.

- ATV elèctric:

| Capacitat bateries (kWh) | Ompliments setmanals | Capacitat anual (kWh/any) | Factor de conversió d'electricitat a Espanya 2016 (CO ₂ kg/kWh) |
|--------------------------|----------------------|---------------------------|--|
| 4,80 | 6 | 1.497,607 | 0,33 |

Taula 7. Consum elèctric anual ATV elèctric.

CO₂ generat anualment = 1.497,60 kWh/any x 0,33 CO₂ kg/kWh = **494,24 kg de CO₂/any**

- ATV de combustió:

| Capacitat dipòsit (L) | Ompliments setmanals | Volum anual (L/any) | Factor de conversió de gasolina a Espanya 2016 (CO ₂ kg/L) |
|-----------------------|----------------------|---------------------|---|
| 10,00 | 3 | 1.560,00 | 2,19 |

Taula 8. Consum elèctric anual ATV combustió.

CO₂ generat anualment = 1.560,00 L/any x 2,19 CO₂ kg/L = **3.416,40 kg de CO₂/any**

Tal i com es pot observar, el CO₂ generat per un quad de combustió és gairebé 7 vegades el generat per un quad elèctric i per tant reforça la nostra iniciativa.

10. Conclusions

Finalitzada aquesta primera etapa de conceptualització, podem extreure'n una conclusió ben clara: és possible fer ATVs completament elèctrics.

No s'ha vist cap problema perquè un quad no pugui ser elèctric i no s'entén com és que encara no es comercialitza. Està clar que el motor elèctric té alguns inconvenients com pot ser l'autonomia o que és més car de fabricar, però el seu reduït tamany i el fet que sigui respectuós amb el medi ambient dóna lloc a un petit mercat que podria estar-hi interessat. Fins i tot, el producte ha complert amb les especificacions plantejades al començament.

Tot i això, el producte és lluny d'estar complet i per tal de perfeccionar-lo seria necessari el següent:

- Fer un estudi d'elements finits per assegurar que el xassís sigui prou resistent per aguantar el pes de les bateries.
- Fer un estudi termotècnic per assegurar que cap part es sobreescalfa, com les bateries o el controlador.
- Fer un estudi d'elements finits del basculant per assegurar que pot resistir els impactes.
- Fer un estudi de l'estabilitat del sistema basculant posterior, per tal de determinar unes constants de la molla i l'amortidor que assegurin que l'augment de pes que aporta el motor al basculant no desestabilitza el sistema.
- Intentar incrementar el voltatge de les bateries per obtenir més potència i poder disminuir la intensitat. Al mateix temps això ajudaria a disminuir les pèrdues per l'efecte Joule.

Des del punt de vista acadèmic, aquest projecte ens ha fet adonar de la nostra inexperiència en dissenyar tant peces fabricables com un producte tant complex. Tot i això, hem après les bases del disseny conceptual d'un producte i se'ns dubte si ara tornéssim a començar arribaríem molt més lluny.

Aquest treball també ha servit per repassar coneixements apresos al llarg de tota la carrera en assignatures com expressió gràfica, màquines elèctriques, electrònica o resistència de materials. I sens dubte tenir coneixements sobre l'automoció elèctrica serà útil al futur.

Finalment, m'agradaria donar les gràcies al meu company Gerard Albarrán Ràfols, per oferir-me fer el treball amb ell i per totes les hores de treball que han passat volant gràcies a la seva energia i sentit de l'humor.

11. Bibliografia

11.1. Referències bibliogràfiques

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/All-terrain_vehicle, Octubre 2016]
- [2] [<http://quadtreros.com/noticias-de-quad-y-atv/ltimas-noticias/4225/primer-quad-electrico-con-marchas-competir-en-silencio>, Octubre 2016]
- [3] ALBARRÁN RÀFOLS, Gerard. 2017. *Conceptual design of an electric ATV. Electric part*.
- [4] [http://pictures.topspeed.com/IMG/crop/201402/suzuki-quadsport-z40-3_800x0w.jpg, Gener 2017]
- [5] [http://powersports.honda.com/Assets/Models/Category/FourTraxRincon_380x372.png, Octubre 2017]
- [6] Bases de quads online, Octubre 2016:
 - <http://quadtreros.com/catalogos-de-las-principales-marcas-de-quad/1>
 - <http://quads.motos.es/>
 - <http://motor.bolsamania.com/fichas/quads/index.php>
 - <http://www.tecnocio.com/quads?orderby=name&orderway=asc>
 - <http://www.arpem.com/motos.html>
 - <http://www.virtualatv.com/Quad-Atv.asp?id=vehiculos>
 - <http://www.solobuggys.com/buggies/en/quads-oficial-ditributor>
 - <https://www.kawasaki.com/category/ATV>
 - <http://www.yamaha-motor.com/>
 - <http://www.suzukicycles.com/Product%20Lines/ATVs.aspx>
 - <http://powersports.honda.com/>
- [7] ATV trips, Octubre 2016:
 - <http://www.amoreteshotel.com/es/quads.php>
 - <http://www.andorrainfo.com/actividades-aventura/quads.html>
 - http://www.motosdenieve.com/quads/rutas_quad.htm
 - <http://www.neoquads.com/>
- [8] [http://www.justgrancanaria.com/es/excursiones/excursiones_de_conduccion/safaris_quad.htm, Gener 2017]
- [9] [<http://www.heinzmann.com/en/download-electric-motors/documents-software>, Desembre 2016]
- [10] [https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_a_la_rodadura, Novembre 2016]

- [11] Coeficient drag, Novembre 2016:
 - www.bgsoflex.com/airdragchart.html
 - http://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html
 - <http://www.buildyourownracecar.com/race-car-aerodynamics-basics-and-design/>
- [12] [http://quads.ddns.net/service-manuals/suzuki/Suzuki_LTZ_400_manual_taller_ES.pdf, Gener 2017]
- [13] [<http://www.electricmotorsport.com/ev-parts/batteries/lithium/gbs-12v-4-cell-100ah-lifemnp4.html>, Gener 2017]
- [14] PAVÓN VELA, Oscar. 2012. *Diseño y cálculo estructural del chasis de un quad de competición*. p.18.
- [15] OTEIZA CHALEZQUER, Raúl. 2011. *Diseño y cálculo de un basculante de un quad de competición*. p. 8.
- [16] [http://www.azedanehijos.cl/tienda/index.php?route=information/information&information_id=27, Gener 2017]
- [17] [<http://www.notubes.com/help/tubelessexplainedanddemystified.aspx>, Gener 2017]
- [18] [<http://www.virtualatv.com/Quad-Atv.asp?id=mecanica/297>, Gener 2017]
- [19] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ackermann_steering_geometry, Desembre 2016]
- [20] [<http://brbikes.es/catalog/category/view/s/disc/id/592/>, Octubre 2016]
- [21] [<http://www.autofacil.es/accesorios/2015/03/30/funciona-freno-tambor/24254.html>, Octubre 2016]
- [22] Normativa. Real Decreto 711/2006. Juny 2006.
[https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-11051]

11.2. Bibliografía complementaria

NORRIS, William (1906). "Steering". *Modern Steam Road Wagons*. Longmans. pp. 63–67.

FOALE, Tony (2003). "Construcción práctica de chasis". *Motocicletas: comportamiento dinámico y diseño de chasis : el arte y la ciencia*. ch. 16 pp 1-8.

Motors elèctrics, Novembre 2016:

- https://etd.ohiolink.edu/rws_etd/document/get/akron1375726072/inline
- <https://www.interempresas.net/Automocion/FeriaVirtual/Producto-Motores-para-vehiculos-electricos-Vernis-Brushless-108487.html>
- <https://www.electromaps.com/motos-electricas/brammo/enertia-plus>

Resistència fase-fase, Novembre 2016:

- [www.electrotechnik.net/2010/11/winding-resistance-measurement.html]

Bateries, Octubre 2016:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery
- https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_\(electricity\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_(electricity))
- <http://www.a123systems.com/products-modules-energy.htm>

Pulse Width Modulation, Novembre 2016:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation]

DC to DC converter, Novembre 2016:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter]

Battery Management System, Novembre 2016:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_management_system]
- [https://www.ficosa.com/wps/wcm/connect/ficosawcm/WebPublica_ES/Productos/ListadoGrupoProductos/Electromobility/ListadoProductosElectromobility/ProductoBMS]
- [<http://www.orionbms.com/>]
- [<http://www.mpoweruk.com/bms.htm>]

Pneumàtics, Gener 2017:

- [<http://www.popularmechanics.com/cars/how-to/a5973/how-tires-are-made/>]

Agraïments a Adrià Santacreu pels seus magnífics esquemes i dibuixos.